Agriculture Canada

Research Branch | Direction générale de la recherche

Une évaluation de la dégradation des terres agricoles au Canada

Canada

Une évaluation de la dégradation des terres agricoles au Canada

D.R. COOTE, J.DUMANSKI et J.F. RAMSEY
Institut de recherche sur les terres
Ottawa (Ontario)

I.R.T. article nº 118

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1982

On peut se procurer des exemplaires de
cette publication à l'adresse suivante:
D. R. Coote
Institut de recherche sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

Production du service des programmes de recherche

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982

TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME	VI
REMERCIEMENTS	VIII
1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Objectifs et approche	1
1.2 Le problème de la dégradation des terres	1
1.3 Processus de dégradation des terres	4
2.0 L'EROSION DU SOL PAR L'EAU	7
2.1 La région cordilléranne	14
2.2 La région des grandes plaines	21
2.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	24
2.4 La région de l'Atlantique	27
3.0 L'EROSION DES SOLS PAR LE VENT	30
3.1 La région cordilléranne	31
3.2 La région des grandes plaines	31
3.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	39
3.4 La région de l'Atlantique	40
4.0 LA PERTE DE STRUCTURE DU SOL ET LA BAISSE DE FERTILITE PAR SUITE DU TRAVAIL DU SOL	41
4.1 La région cordilléranne	42
4.2 La région des grandes plaines	47
4.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	49
4.4 La région de l'Atlantique	54
5.0 LA SALINISATION DES SOLS	55
5.1 La région cordilléranne	57
5.2 La région des grandes plaines	58
5.3 La région des Grands Lacs, du Saint-Laurent et de l'Atlantique	62
6.0 L'ACIDIFICATION DU SOL	63
6.1 La région cordilléranne	64
6.2 La région des grandes plaines	71
6.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	74
6.4 La région de l'Atlantique	75
7.0 LA CONTAMINATION DU SOL	77
7.1 La région cordilléranne	78
7.2 La région des grandes plaines	79
7.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	80
7.4 La région de l'Atlantique	82
8.0 LE MELANGE DES SOLS ET LEUR PERTURBATION	83
8.1 La région cordilléranne	83
8.2 La région des grandes plaines	83
8.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent	85
8.4 La région de l'Atlantique	87

9.0 LA DETERIORATION DES SYSTEMES DE DRAINAGE ET LES INONDATIONS 87

10.0 L'AFFAISSEMENT DES SOLS ORGANIQUES 88

11.0 COULEES BOUEUSES ET GLISSEMENTS DE TERRAIN 90

12.0 RESUME ET CONCLUSIONS 92

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 95

LISTE DES TABLEAUX

		Page
1.	Superficie des terres agricoles au Canada (10^6 ha).	3
2.	Les facteurs d'utilisation des terres agricoles au Canada relativement aux problèmes de dégradation des terres.	5
3.	Répercussions écologiques potentielles relatives à la dégradation des terres.	6
4.	Processus de dégradation des terres.	13
5.	La proportion de matières organiques dans les sols superficiels de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent sous l'effet des pratiques culturales.	52
6.	Contribution moyenne annuelle approximative à l'acidité du sol par les apports atmosphériques (1977-1979) et l'emploi des engrais (1974-1979) exprimé en équivalents de $CaCO_3$ nécessaire à la neutralisation ($CaCO_3$ en kg/ha par an).	73

LISTE DES CARTES

		Page
1.	Régions agricoles montrant les terres améliorées en 1976 en pourcentage de l'ensemble des terres cultivées.	10-12
2.	Risques relatifs d'érosion hydrique.	16-17
3.	Risques relatifs d'érosion hydrique modifiés par les pratiques culturales de 1976.	18-19
4.	Risques relatifs d'érosion éolienne.	34-35
5.	Risques relatifs d'érosion éolienne modifiés par les pratiques culturales de 1976.	36-37
6.	Risques relatifs de perte de matières organiques du sol et compactage estimé à partir de la répartition des cultures en 1976.	44-45
7.	Sols affectés par le sel et risques relatifs de salinisation des sols.	59
8.	Risques relatifs d'acidification des sols.	66-67
9.	Risques relatifs d'acidification des sols modifiés par l'étendue des terres cultivées, l'emploi d'engrais azotés et le chaulage.	68-69

RESUME

Au Canada, 96% des sols dont le potentiel agricole se situe de la classe 1 à la classe 3 sont déjà en production, comme c'est le cas de la plus grande partie des terres de la classe 4 dans les zones climatiques les plus favorables. La stabilité de la productivité agricole canadienne repose sur le maintien de la qualité de ses sols, et non sur la mise en culture de nouvelles terres.

Il n'existe aucun endroit du pays où la qualité des sols s'améliore de façon marquée sur de vastes étendues. Au contraire, de nombreux sols de toutes les régions du pays se détériorent sous l'effet d'un ou de plusieurs des processus suivants: érosion par l'eau ou le vent; perte de structure et de fertilité accompagnant un travail intensif; salinisation; acidification; contamination par des résidus chimiques; et perturbation. En outre, les sols agricoles de certains endroits sont affectés par la détérioration des systèmes de drainage et par les coulées boueuses ou les glissements de terrain, l'oxydation et d'autres facteurs d'affaissement.

L'érosion des sols par l'eau semble être un phénomène plus ou moins universel qui agit sur des terres agricoles de toutes les parties du Canada. Les principaux secteurs qui suscitent des craintes sont ceux des champs de pommes de terre du Nouveau-Brunswick et de l'Ile-du-Prince-Edouard, les sols argileux intensément cultivés du Québec et de l'Ontario ainsi que les pentes jachérées en été dans les districts de la Rivière-de-la-Paix en Alberta et en Colombie-Britannique. L'érosion éolienne, toujours un problème de premier plan dans les Prairies, existe aussi dans les sols sableux de l'Ontario et même dans les provinces de l'Atlantique, de même que dans toutes les grandes étendues dont le sol est travaillé.

La détérioration des sols se produit par suite du travail intensif du sol, ce qui donne lieu à la perte des matières organiques. Parallèlement à cette détérioration, on assiste à des baisses de la fertilité du sol et à la dégradation de la structure. Le travail du sol à l'état humide endommage aussi sa structure. On rencontre de tels problèmes à la grandeur du pays. C'est dans les sols sableux qu'ils sont les plus graves parce que le travail excessif du sol à l'état sec réduit sa fertilité, tandis que dans les sols argileux le travail du sol à l'état humide donne lieu au compactage. La jachère d'été pratiquée dans les prairies et le travail du sol en lignes dans l'est et en Colombie-Britannique semblent être les principales causes d'inquiétude au sujet de la perte de fertilité du sol et de la détérioration de sa structure dans ces régions.

La salinisation du sol est un problème de l'Ouest canadien lié à la jachère d'été et à la modification du milieu végétatif naturel, ce qui a conduit au mouvement des eaux souterraines chargées de sel vers la surface des zones d'infiltration. Le problème semble se manifester sur une superficie de plus en plus vaste et il est difficile de l'arrêter. Il s'agit probablement du principal problème relatif à la qualité des sols dans les prairies. Par contre, l'acidification est surtout un problème dans l'Est canadien par suite de l'accélération des processus de lessivage des sols naturels causés par les apports d'acide dans les précipitations et par les engrais azotés, ceux-ci étant la principale des deux sources. On n'a pas vraiment à se préoccuper de l'acidification quand la chaux est employée suivant les quantités voulues.

Lorsque les sols servent à l'évacuation des déchets, comme c'est parfois le cas avec les effluents ou les boues d'épuration, il existe des risques de contamination par les métaux lourds et les produits toxiques de nature organique qui sont souvent présents dans ces déchets. Les résidus de pesticides et les contaminants atmosphériques peuvent aussi s'accumuler dans les sols. Bien qu'il ne s'agisse pas encore d'un problème grave, la contamination du sol prend de plus en plus d'importance, notamment dans les parties les plus densément peuplées du Canada où les sols sont précieux et où les déchets sont produits en plus grande quantité. Une fois contaminé, un sol peut perdre de sa valeur pour la production agricole pendant une durée prolongée.

Certains autres problèmes de qualité des sols n'ont qu'une portée locale; c'est notamment le cas du mélange des sols, de la perturbation des sols, des coulées boueuses, des glissements de terrain, de la détérioration des systèmes de drainage et de l'affaissement des sols organiques. Ces problèmes sont susceptibles de se produire en tout endroit du pays où existent les conditions nécessaires.

De manière générale, les mesures correctives ou préventives sont encore assez rares. On peut avoir recours à certaines pratiques particulières, lorsque les problèmes ont été reconnus depuis un certain temps. Sur le plan national, on a tendance à ne pas considérer les problèmes de qualité des sols comme facteur déterminant dans la productivité agricole à long terme. Tant qu'il en sera ainsi, ces problèmes ne recevront pas l'attention qu'ils méritent.

REMERCIEMENTS

Un grand nombre de personnes ont collaboré à la préparation du présent rapport, soit directement soit sous forme d'observations faites à l'occasion des visites que l'auteur principal a rendues dans différentes parties du pays. Il serait difficile d'énumérer tous les noms un à un et toute omission serait malvenue. Par conséquent, les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance pour le temps et l'aide reçus à l'ensemble des employés des sections de prospection pédologique fédérales-provinciales ainsi que des ministères provinciaux de l'Agriculture. Les chercheurs en poste dans les stations de recherche d'Agriculture Canada ont aussi consacré beaucoup de temps pour faciliter les présents travaux d'évaluation. Il convient de remercier de façon bien spéciale les employés des stations de recherche de Charlottetown, Frédéricton, Harrow, Swift Current, Lethbridge, Beaverlodge et Summerland ainsi que ceux de la sous-station de Vegreville. Les employés de l'Institut de recherche sur les terres à Ottawa ont aussi fourni des renseignements pour la préparation du rapport. Pour leur empressement, ils ont également droit à toute la reconnaissance des auteurs.

Un grand nombre de particuliers ont aussi consacré une partie de leur temps à revoir les premières versions du rapport. Les auteurs tiennent à remercier de façon particulière MM. A.W. Goettel (Agriculture Alberta), A.A. MacLean (Station de recherche de Frédéricton) et C. Wang (Institut de recherche sur les terres) pour le temps et le labeur consacrés à revoir la version révisée.

Finalement, il ne faudrait pas oublier de souligner l'immense travail accompli par Diane Lafontaine, Lucie Mongeon et Karen Burns qui ont dactylographié ces textes et la Sous-section du traitement des textes du Service des programmes de recherche qui ont dactylographié la version française.

1. INTRODUCTION

1.1 Objectifs et approche

La présente monographie donne une évaluation générale et qualitative du type, de l'emplacement et de l'ampleur de la dégradation des terres dans les différentes régions agricoles du Canada. Du coup, elle établit une banque de renseignements à partir de laquelle il sera possible d'envisager les besoins et les objectifs prioritaires de recherche en ce qui concerne l'évaluation quantitative de la détérioration des sols à travers le pays et l'élaboration de mesures de gestion des terres visant leur amélioration. La dégradation des terres est envisagée du point de vue des processus de détérioration des qualités édaphiques des sols en fonction de leur état antérieur naturel ou le plus productif.

Jusqu'ici, les études portant sur la dégradation des terres ont eu tendance à être spécialisées en fonction des intérêts et des compétences de chacun des chercheurs. En 1968, le Comité national sur la fertilité des sols a dirigé un colloque sur la pollution des sols (21). En 1971, un rapport spécial sur la protection des sols et leur pollution a été préparé pour le Comité interministériel sur les activités écologiques internationales (23). La même année, une contribution d'importance a été faite sur le plan mondial avec la publication du bulletin de la F.A.O. intitulé Dégradation des terres (89). Toutefois, les documents qui précèdent n'ont pas été préparés dans une perspective géographique si bien qu'ils ne suffisent pas à répondre aux exigences actuelles en matière d'information. La présente étude a été préparée afin de combler ce besoin.

L'approche employée pour cerner le problème dans les pages qui viennent est analogue, de manière générale, à celle déjà adoptée par la F.A.O. (89). La perspective a été toutefois élargie afin d'englober la gamme des processus naturels et anthropiques qui s'appliquent actuellement au Canada*.

1.2 Le problème de la dégradation des terres

La dégradation des terres intéresse le Canada à plusieurs points de vue et cela revient toujours au besoin de préserver les terres pour la production agricole. Près de la moitié de

* La soustraction des terres à la production agricole pour les besoins de l'expansion urbaine, de l'aménagement de lieux de loisir, de la construction routière où des activités industrielles est une question d'ordre politique, c'est pourquoi il n'en est pas question dans l'étude.

la superficie totale des terres du Canada appartient aux zones de climat arctique et subarctique, à potentiel agricole pratiquement nul, tandis qu'un autre 25% se trouve dans des régions froides où les récoltes et les rendements sont gravement limités par la température (tableau 1). Environ 12% des terres qui restent sont semi-arides ou subarides, la croissance des plantes y étant limitée par le degré d'humidité des lieux (26). Les terres agricoles "améliorées" du Canada totalisent 44,2 millions d'hectares (soit 4,8% de la superficie totale des terres). Même s'il ne s'agit là que de 54% des classes de possibilités 1 à 4, il s'agit par contre de 96% des classes de possibilités 1 à 3. Environ 20 millions d'hectares supplémentaires ont un potential pour une forme particulière d'utilisation agricole, mais la plus grande partie de cette superficie se trouve dans des zones climatiques moins propices et convient davantage à l'élevage. Les données qui existent permettent d'estimer que la proportion des sols vraiment propices à la culture ne forme que 10% du total (102).

Le tableau 2 énumère un certain nombre de facteurs d'utilisation des terres agricoles qui ont des répercussions sur le maintien de la qualité des terres agricoles. Ces facteurs permettent de penser que l'agriculture éprouvera de plus en plus de difficultés pour maintenir son niveau élevé actuel de productivité et qu'on anticipe pour l'avenir une dégradation des terres plus grave que tout ce que l'on a connu par le passé.

L'urbanisation continue donne lieu à une intensification poussée de l'utilisation du sol sur les terres agricoles restantes. Depuis toujours, les foyers de population se sont développés dans les régions du Canada possédant les conditions climatiques et pédologiques les plus favorables. L'expansion urbaine qui en découle engendre une pression plus forte sur les terres productives éloignées des centres urbains à mesure que certaines terres sont soustraites au domaine agricole. Le maintien de ces terres dans les meilleures conditions physiques et chimiques possibles est par conséquent de la plus haute importance pour la production agricole à venir au Canada.

On peut aussi s'inquiéter de l'effet de la dégradation des terres sur le milieu écologique. Le tableau 3 énumère certaines des répercussions écologiques les plus faciles à reconnaître et découlant de la détérioration des sols. Les paysages naturels, la faune terrestre et la faune aquatique font partie des ressources primaires issues du milieu.

Aucune des idées qui précèdent n'est nouvelle. Différentes personnes et différents groupes s'intéressant à la qualité du milieu écologique cherchent à attirer l'attention sur ce genre de problème depuis des décennies. Nombre des problèmes actuels ont déjà fait l'objet d'études détaillées et certaines mesures ont été prises à l'époque du "dust bowl" dans les années 20 et 30. D'autres personnes ont alerté les pédologues et les écologistes pour des périodes plus courtes.

Tableau 1 Superficie des terres agricoles au Canada (10^6 ha)

Superficie totale des terres au Canada[1]	918,1 (100%)
Potentiel agricole nul - Climat arctique à subarctique[1]	442,9 (48,2%)
Potentiel agricole gravement limité par le climat et déterminé localement par la qualité des sols[1]	256,6 (28,0%)
i) Froid (degrés-jours de croissance des sols 555 à 1110)	227,3 (24,8%)
ii) Sec (déficit en eau dans le sol 127 mm)	29,3 (3,2%)
Potentiel agricole déterminé surtout par les sols[1]	218,6 (23,8%)
Possibilités agricoles des sols: classes 1 à 4[2]	81,7 (8,9%)
Ensemble des terres cultivées (1976)[3]	67,2 (7,3%)
Terres agricoles améliorées (1976)[3]	44,2 (4,8%)
i) Terres en culture ou en jachère (1976)	39,3 (4,3%)
ii) Pâturage (1976)	4,9 (0,5%)

1. Référence 26.

2. Référence 102; comprend un estimé pour la Colombie-Britannique tiré de: B.C. 1978 Agricultural Statistics Yearbook, Ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique, avril 1979.

3. Référence 25.

Un certain nombre de phénomènes en cause dans la dégradation des sols est d'origine naturelle et certains d'entre eux existeraient même sans l'intervention de l'homme. Toutefois, ces phénomènes peuvent souvent être accélérés par la modification de l'équilibre du sol. Les sols peuvent être appauvris en matière nutritive et en stabilité physique par leur exploitation. D'un autre côté, une saine gestion et un aménagement continu du sol consistant notamment à ajouter du fumier, des résidus de cultures, des engrais et de la chaux ainsi que le maintien des rotations peuvent finir par améliorer le sol de façon durable.

Il est possible que l'intérêt porté à l'accroissement de la productivité et que le succès obtenu sous ce rapport aient pu masquer certaines modifications dans la qualité des sols. De meilleures variétés cultivées, l'emploi plus poussé d'engrais et la mécanisation agricole ont tous contribué à rendre l'industrie agricole plus efficace. Toutefois, ces améliorations ont été apportées au cours d'une longue période de climat relativement stable et propice. Si jamais les régimes météorologiques retrouvaient la variabilité qui a existé au cours des décennies antérieures, les problèmes de qualité des sols pourraient facilement s'aggraver.

1.3 Processus de dégradation des terres

Les processus qui contribuent à la dégradation des terres peuvent être répartis en deux grands groupes: les premiers sont ceux qui peuvent être observés à l'échelle d'une vaste région et qui résultent de facteurs climatiques, agrologiques et pédologiques régionaux, tandis que les seconds ont une portée limitée en étendue et ils dépendent des conditions agrologiques ou pédologiques locales.

Tableau 2 Les facteurs d'utilisation des terres agricoles au Canada relativement aux problèmes de dégradation des terres

Les 100 dernières années	Les 100 prochaines années
1. Amélioration dans les variétés cultivées, dans les engrais et les modes de gestion: hausse constante du rendement des récoltes.	1. Les bénéfices de rendement découlant des améliorations apportées aux variétés et à la fertilité sont susceptibles de culminer.
2. Accroissement des apports d'énergie économique: travail du sol, pesticides, engrais.	2. Les coûts de l'énergie s'élèvent rapidement; certaines sources sont abandonnées.
3. On compte sur la fertilité naturelle des sols pour qu'ils résistent aux abus de la monoculture intensive.	3. Les concentrations de matières organiques dans le sol diminuent et sont en voie d'adopter un nouvel équilibre conforme aux pratiques culturales: fertilité moindre et structure du sol moins en mesure de résister aux abus du travail de ce sol.
4. Abandon des terres marginales en faveur des zones à climat et sols meilleurs.	4. Les terres marginales pourraient être rendues à l'agriculture par suite de la demande alimentaire.
5. Intensification du drainage et de l'irrigation dans les régions présentant les meilleurs rapports coûts-bénéfices.	5. Le drainage et l'irrigation deviennent moins rentables puisque les sols cultivés sont moins riches.
6. Effets de l'expansion urbaine absorbés par la combinaison de 1 et 2.	6. Les terres prises par l'urbanisation sont remplacées par des sols à potentiel inférieur, plutôt que par l'accroissement des rendements sur les sols meilleurs.
7. Emploi extensif de la rotation des cultures dans le cadre de systèmes d'utilisation mixte des terres agricoles.	7. Une intensification accrue des modes d'utilisation du sol grâce à des systèmes de monoculture plus poussés.

Tableau 3 Répercussions écologiques potentielles relatives à la dégradation des terres

1. Pollution des eaux:	eaux de surface.
Eutrophication:	N et P provenant de l'érosion et du ruissellement.
Contamination:	pesticides et métaux lourds provenant de l'érosion et du ruissellement.
2. Pollution des eaux:	eaux souterraines.
Contamination:	les nitrates et sels provenant de sols contaminés peuvent être entraînés par la percolation profonde, en même temps que certains pesticides et métaux lourds lorsque ceux-ci sont présents dans le sol en quantité suffisante.
3. Dépôt à partir de l'érosion des sols.	
Faune:	la destruction des frayères, le remplissage des étangs, des marécages, etc., qui sont les habitats de nombreuses espèces fauniques.
4. Pollution atmosphérique par suite de l'érosion éolienne.	
5. Contamination de la faune à partir des plantes et des insectes	contaminés par l'absorption de pesticides, de métaux lourds, etc. présents dans le sol.
6. Désertification par suite de l'érosion éolienne, de la contamination des sols.	
7. Inondations dues à un ruissellement excessif, à une détérioration	du drainage, aux dépôts et aux glissements de terrain.

Au tableau 4, on donne une énumération des processus régionaux et locaux de dégradation des terres. Dans les pages qui viennent, chacun des problèmes est traité du point de vue de son évolution, de sa portée et de sa gravité dans chacune des grandes régions naturelles du Canada (carte 1). Même s'il est admis que de petites parcelles de terres agricoles existent au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest, dans certaines parties isolées de la Colombie-Britannique et du Bouclier canadien (en Ontario et au Québec), le manque de renseignements à leur sujet ne permet pas d'en traiter.

La discussion et les cartes présentées dans les pages qui viennent s'appliquent surtout aux régions de terres agricoles améliorées. Ainsi, les zones de terres non améliorées, comme les boisés, les pâturages, les terrains résidentiels, récréatifs et d'utilité publique même si elles font souvent partie du secteur agricole, elles ne sont pas nécessairement soumises aux mêmes processus de dégradation que les terres agricoles améliorées ou exploitées. La carte n°1 indique les limites approximatives de l'utilisation des terres agricoles et elle précise l'étendue des terres améliorées sur les exploitations agricoles du secteur. Les terres cultivées comportent une vaste gamme d'intensités d'utilisation.

2.0 L'EROSION DU SOL PAR L'EAU

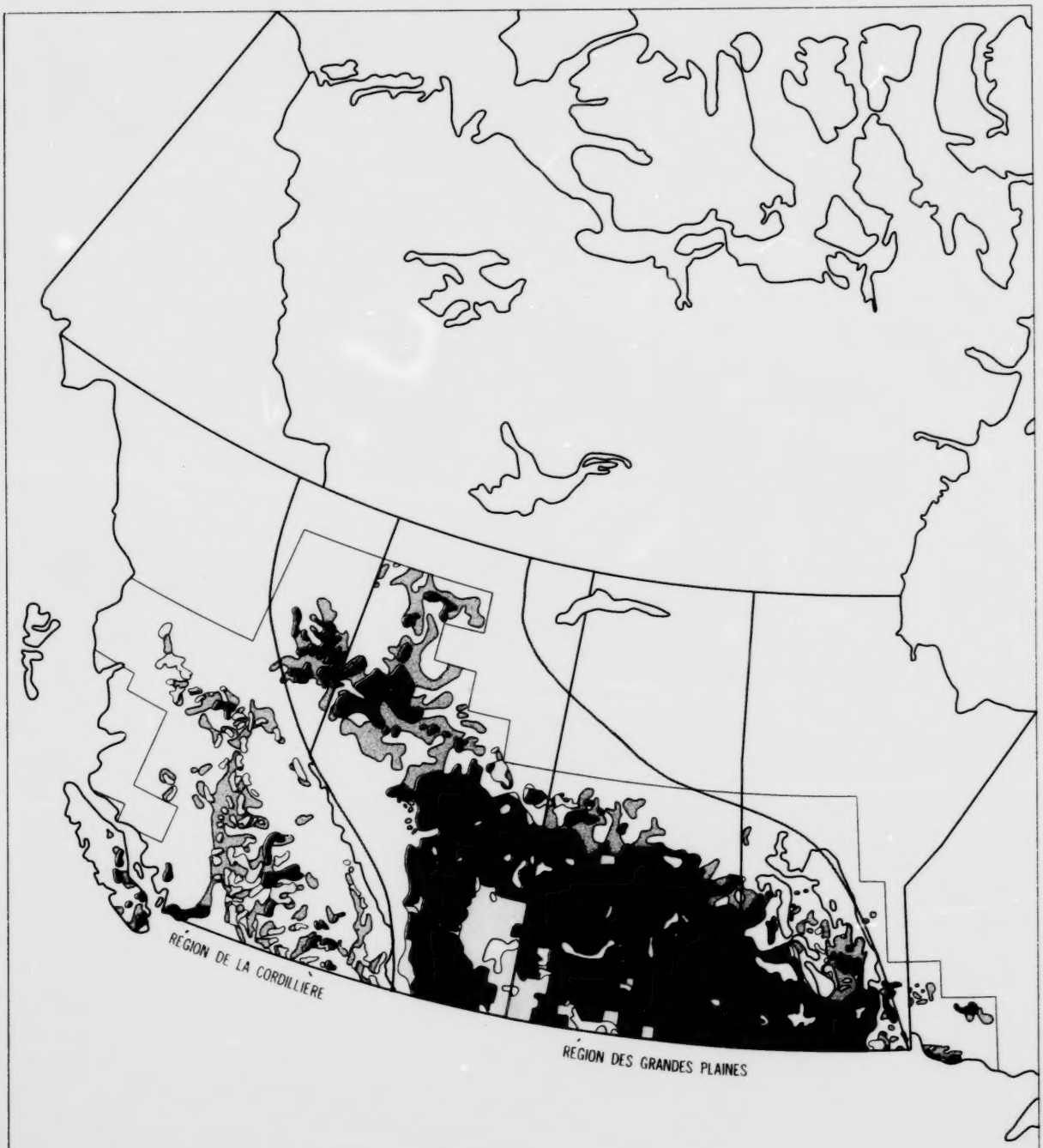
Il s'agit de la forme de dégradation du sol la plus répandue et la plus fréquemment constatée. Elle peut être observée dans toutes les provinces par suite des opérations de déboisement, du travail du sol, de la fonte des neiges ou des pluies.

L'érosion hydrique du sol déplace ou entraîne les éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour leur croissance. Elle donne lieu au triage et à la redistribution des particules de sol, ce qui résulte souvent en l'enlèvement de matières organiques et des fractions minérales microgrenues. Ce sont les éléments du sol les plus précieux puisqu'ils possèdent la plus forte capacité d'échange cationique et la plus grande quantité d'éléments nutritifs adsorbés. L'érosion du sol laisse souvent certaines parties du champ recouvertes seulement d'une mince couche superficielle de sol (c'est-à-dire d'un solum mince), ce qui réduit la capacité de rétention d'eau et de formation des racines; il s'ensuit généralement une croissance inégale des plantes. Le phénomène entraîne aussi l'envasement des chenaux naturels de drainage superficiel, ce qui cause l'étouffement des plants au printemps et la formation de couches durcies lorsque les limons déposés s'assèchent.

L'érosion des sols soulève des questions écologiques d'une portée considérable. Les particules érodées transportent par absorption des matières polluantes comme le phosphore et les pesticides tenaces, vers les cours d'eau et les lacs. Les matériaux déposés sont eux-mêmes dommageables pour le milieu aquatique où ils réduisent la pénétration de la lumière et ensevelissent les frayères.

Les principaux facteurs qui déterminent la vitesse et l'importance de l'érosion des sols par l'eau sont les suivants: i) la résistance du sol à la désagrégation par les gouttes de pluie ou l'eau courante; cette résistance dépend de la granulométrie, de la teneur en matières organiques, de la perméabilité, du degré d'agrégation et de la stabilité structurale; ii) l'intensité des pluies ou du ruissellement; iii) le pendage et la longueur de la pente qui déterminent la quantité et le degré de concentration du ruissellement; iv) la présence de couches gelées dans le profil du sol; et v) la couverture végétale ou les résidus qui protègent le sol contre les gouttes de pluie et qui retardent le ruissellement et le mouvement du sol.

Carte 1 Régions agricoles montrant les terres améliorées en 1976 en pourcentage de l'ensemble des terres cultivées.



Carte 1: Régions agricoles montrant les terres agricoles améliorées en 1976 en pourcentage du total des terres agricoles (1).

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Zone contenant des terres agricoles améliorées(2)

- Moins de 40% des terres agricoles étaient améliorées en 1976
- 40 à 74,9% des terres agricoles étaient améliorées en 1976
- 75% ou plus des terres agricoles étaient améliorées en 1976

Zone possédant un certain potentiel agricole, mais non cultivée en 1976(3)

Limite de l'inventaire des terres du Canada

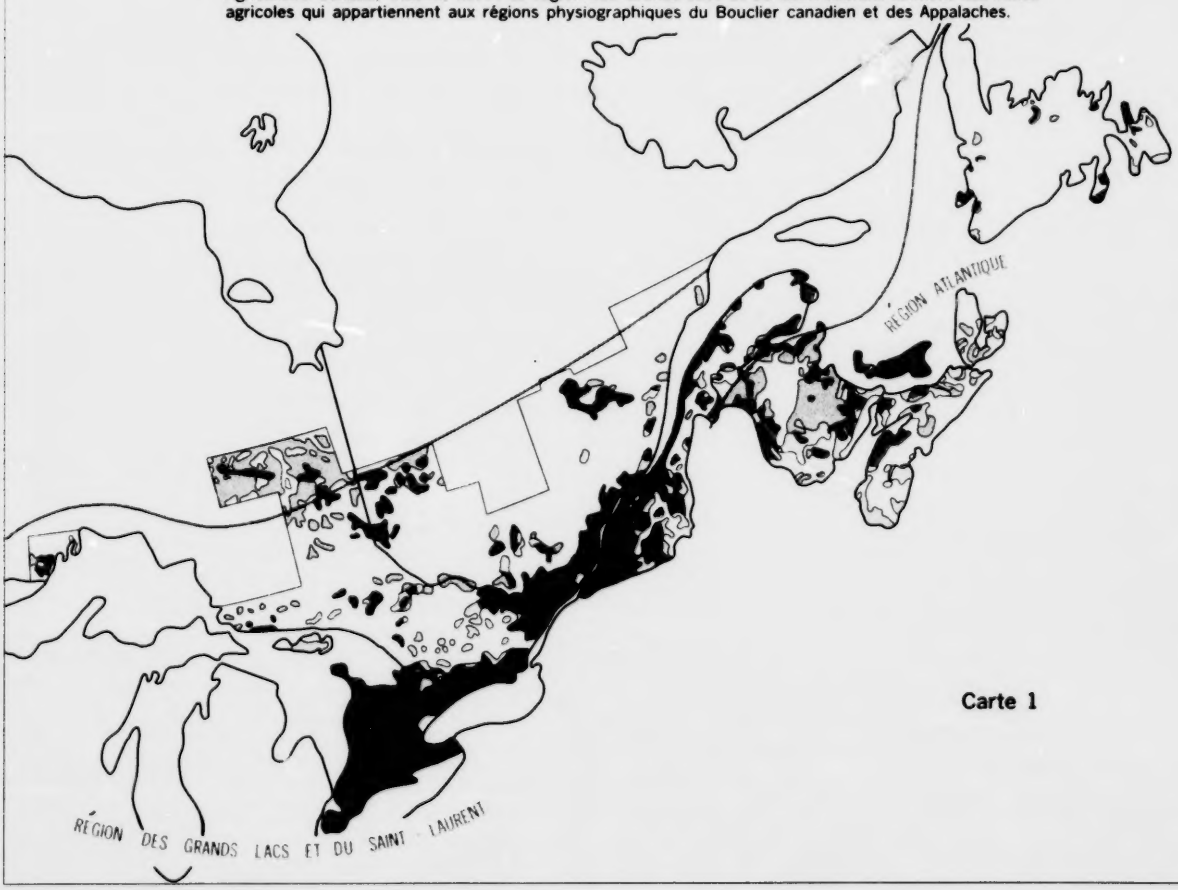
Limite des régions agricoles(4)

(1) D'après une carte basée sur Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976, Groupe de géocartographie, Ottawa. Les terres agricoles améliorées comprennent les terres occupées par les bâtiments agricoles et toutes les terres qui ont récemment reçu des produits chimiques ou fait l'objet d'améliorations physiques.

(2) D'après la carte 1/7 500 000 basée sur l'utilisation des terres, Inventaire des terres du Canada, préparée par C. Gosson, Atlas national du Canada, Énergie, Mines et Ressources, Ottawa, 1980.

(3) D'après la carte 1/7 500 00 basée sur les possibilités agricoles des terres, Inventaire des terres du Canada, préparée par C. Gosson, Atlas national du Canada, Énergie, Mines et Ressources, Ottawa, 1980.

(4) Adapté de: Clayton, J.C., Ehrlich, W.A., Cann, D.B., Day, J.H. et Marshall, I.B. *Soils of Canada*, Vol. I, Agriculture Canada, Ottawa, 1977. La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent contient des zones agricoles qui appartiennent aux régions physiographiques du Bouclier canadien et des Appalaches.



Carte 1

Tableau 4 Processus de dégradation des terres

1. Au plan régional

   i) Erosion des sols par l'eau, notamment l'érosion en nappe, l'érosion par rigoles et l'érosion en ravins ou ravinements.

   ii) Erosion du sol par le vent.

   iii) Perte de structure du sol et de matières organiques par suite du travail du sol.

   iv) Salinisation du sol causée tant par les infiltrations en régime de culture sèche que par les eaux d'irrigation, y compris la solonisation (ou alcalisation) localisée.

   v) Acidification du sol par suite de l'utilisation d'engrais et des apports atmosphériques de soufre et d'azote.

2. Au plan local

   i) Contamination des sols par les pesticides, les boues d'épuration et la pollution atmosphérique.

   ii) Perturbation et mélange des sols par suite de l'exploitation de mines à ciel ouvert, de l'installation de pipelines, etc.

   iii) Affaissement des sols organiques par l'oxydation, le retrait et l'érosion.

   iv) Coulées boueuses et glissements de terrain.

   v) Inondation, engorgement par l'eau et détérioration des réseaux de drainage.

La carte 2 illustre les risques relatifs d'érosion par l'eau à travers le Canada. Elle a été élaborée à partir de l'écoulement annuel prévu vers les cours d'eau, de l'averse de pluie maximale pendant une heure au cours d'une période cyclique de dix ans et de la texture des sols superficiels. Ces facteurs indiquent l'excès saisonnier cyclique de précipitation ou de fonte des neiges sur une capacité de stockage d'humidité dans le sol: ils indiquent aussi les risques de tempêtes occasionnelles de forte intensité ainsi que les vitesses approximatives d'infiltration dans le sol et l'érodabilité.

Sur la carte 3, la répartition et l'intensité des pratiques culturales, correspondant à la perturbation du sol et à la couverture végétale existante pour protéger les sols contre l'érosion, sont les facteurs employés pour modifier l'évaluation des risques illustrés sur la carte 2 afin d'indiquer le degré et la portée de l'érosion hydrique actuellement en cours. La carte 3 établit une bonne corrélation avec les problèmes d'érosion des sols signalés, c'est pourquoi elle fournit un tableau acceptable de la situation générale à travers le pays.

2.1 La région cordilléranne

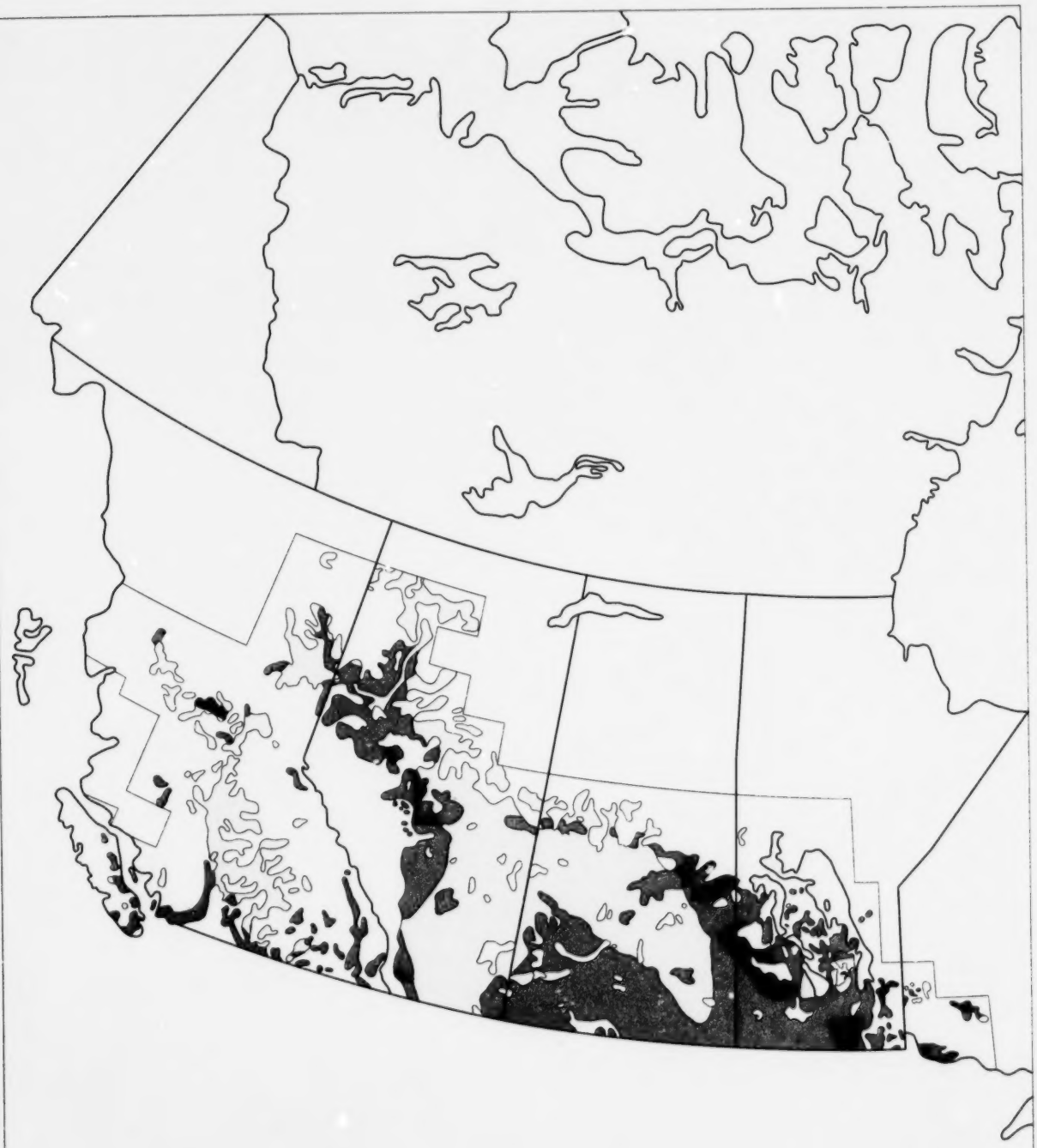
Dans l'Ouest montagneux, deux problèmes graves mais différents d'érosion hydrique ont été constatés. Le premier existe dans les sols cultivés de certaines vallées fluviales où le travail du sol laisse les sols sans protection contre l'érosion par les pluies abondantes et le ruissellement. Le second problème existe dans les régions boisées et sévit à la fois pendant et après la coupe du bois. Ce dernier problème sort du cadre de la présente étude, mais il est quand même assez grave et mérite qu'on s'y intéresse. Il affecte parfois directement l'agriculture en favorisant l'alimentation des cours d'eau en limons et en affectant les eaux destinées à l'irrigation; ce problème touche souvent des terres possédant un potentiel d'utilisation agricole pour l'avenir.

L'érosion des sols par l'eau est un problème reconnu dans la vallée du Bas-Fraser et à un degré moindre dans certaines parties des vallées de l'Okanagan et du Kootenay, où la culture intensive du maïs, des pommes de terre et du raisin se pratique avec de larges interlignes. Les pluies tombent surtout en hiver, ce qui contribue à éroder les sols cultivés qui sont dépourvus de végétation pendant l'hiver. Dans les vallées intérieures, les précipitations sont généralement faibles et l'irrigation est nécessaire à la plupart des productions agricoles. Nombre de sols se sont formés sur des matériaux limoneux d'origine lacustre et sont de ce fait fortement érodables lorsqu'ils sont soumis à la culture et à l'irrigation. L'hydro-amélioration donne parfois lieu au phénomène de renard et d'affaissement dans de tels sols*.

* Le phénomène de renard (ou tuyautage) est un processus d'affouillement qui entraîne la formation de tunnels érodés et provoque parfois des effondrements.

Carte 2 Risques relatifs d'érosion hydrique.

Carte 3 Risques relatifs d'érosion hydrique modifiés par les pratiques culturales de 1976.



Carte 2: Risque relatif d'érosion hydraulique.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

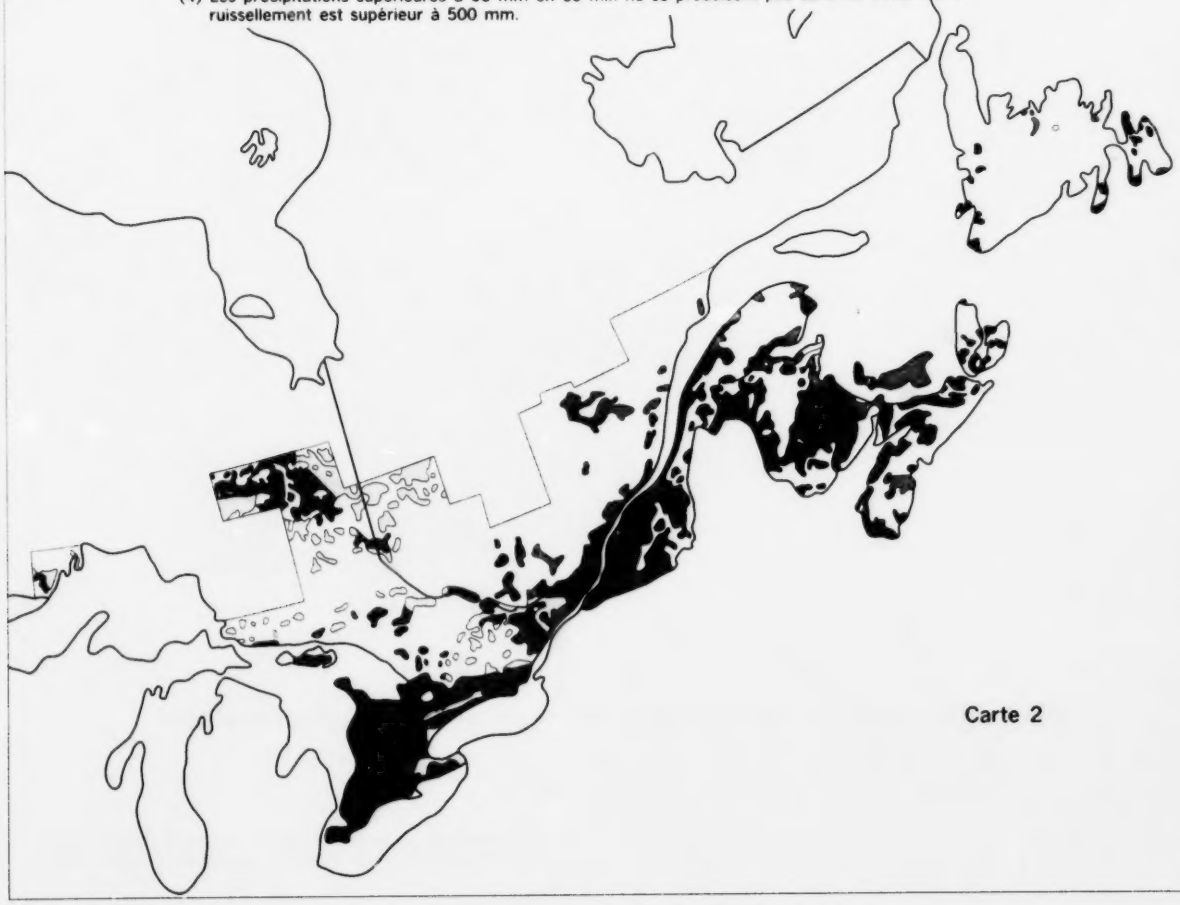
Texture du sol superficiel (1)	Ruissellement annuel moyen (mm)(2)											
	<100				100-500				>500			
	Précipitation (mm) sur une heure, pour 10 ans(3)											
	<24	24-<40	40-<56	≥56	<24	24-<40	40-<56	≥56	<24	24-<40	40-<56	≥56(4)
Sableux												Sans objet
Loameux												
Argileux												

(1) D'après des données publiées et non publiées sur les sols.

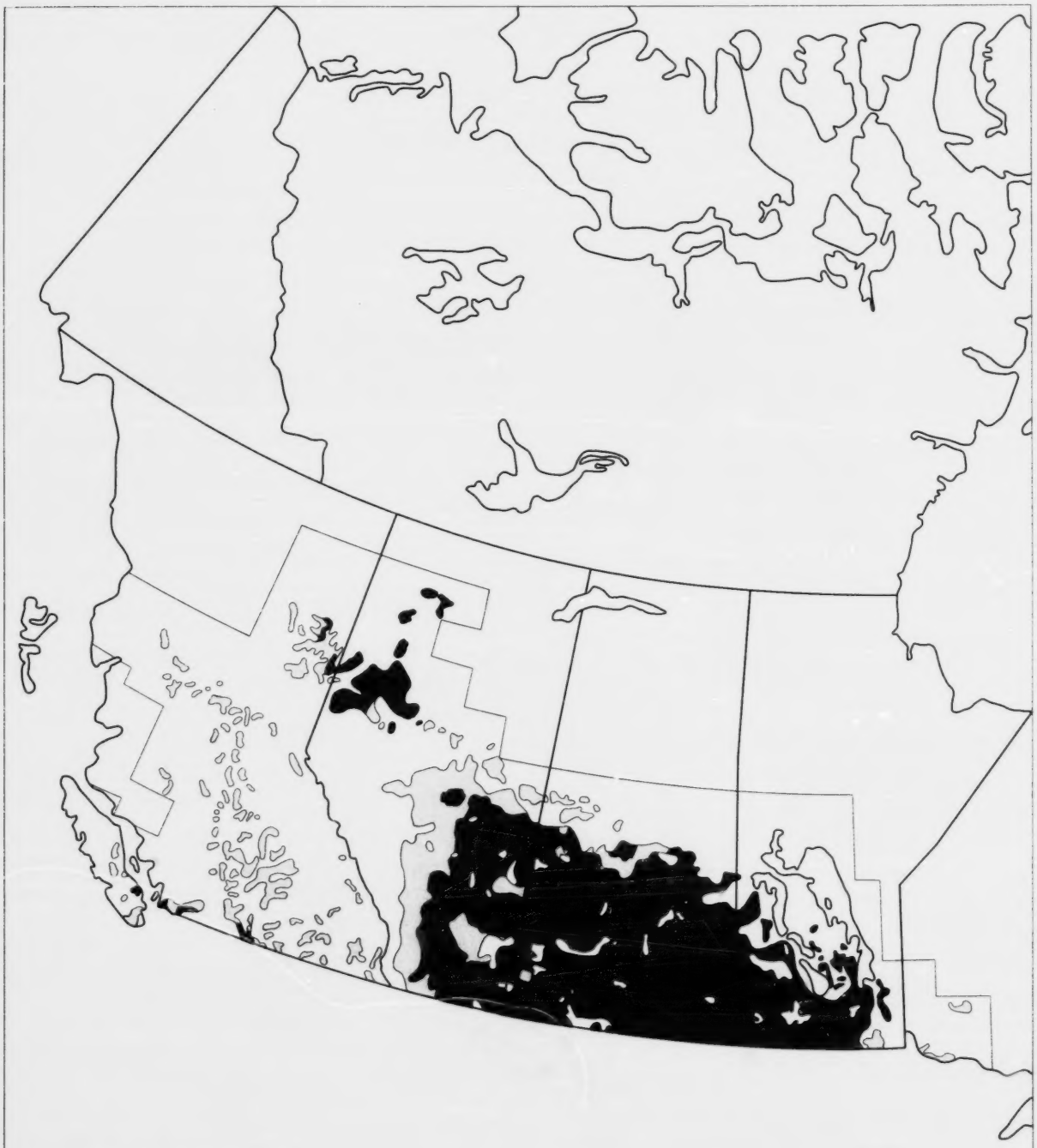
(2) D'après: *Ruissellement annuel (quantité moyenne annuelle d'eau, par unité de surface, qui passe dans les cours d'eau)*, Atlas hydrologique du Canada, Pêches et Environnement Canada, 1978.

(3) D'après: *Intensité, durée et fréquence des précipitations locales*, Atlas hydrologique du Canada, Pêches et Environnement Canada, 1978.

(4) Les précipitations supérieures à 56 mm en 60 min ne se produisent pas dans les zones où le ruissellement est supérieur à 500 mm.



Carte 2



Carte 3: Risque relatif d'érosion hydraulique, modifié par les pratiques agricoles de 1976.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

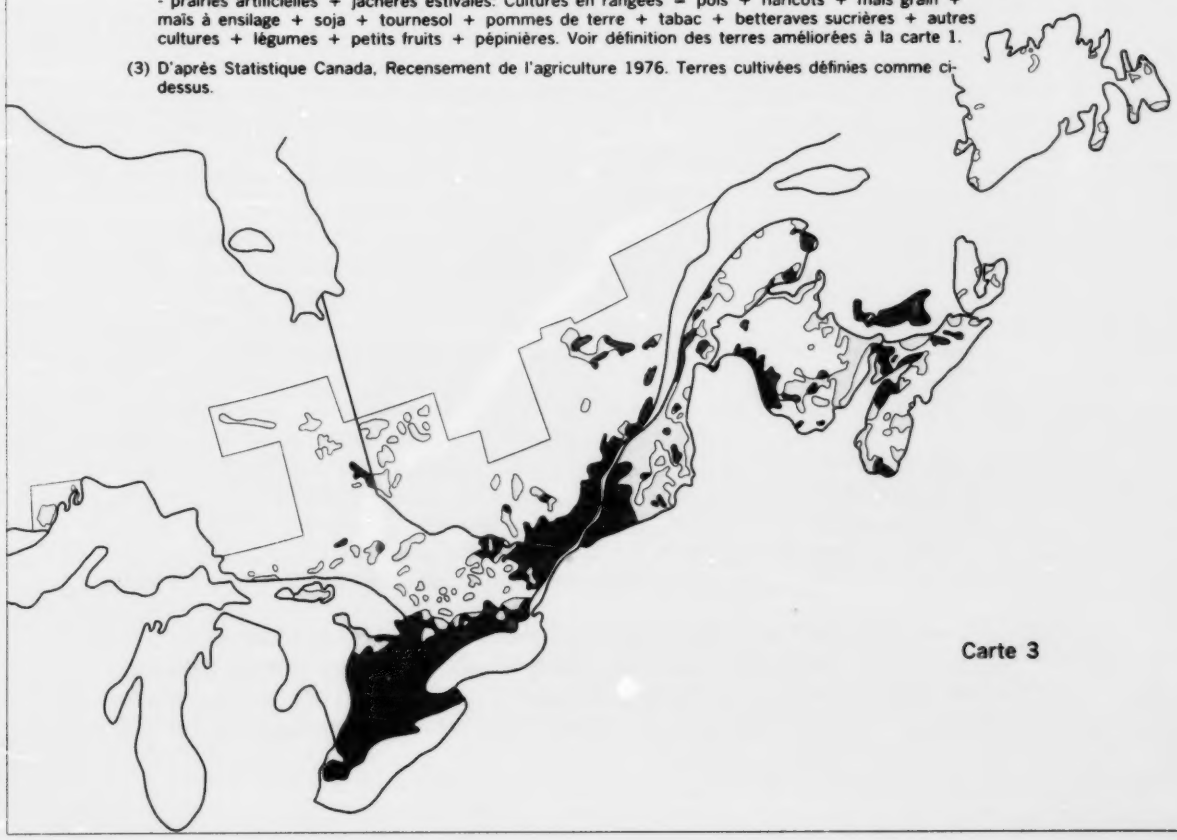
Élevé: voir tableau ci-dessous

Risque relatif d'érosion hydraulique(1)	Terres cultivées (% des terres améliorées)(2)	Cultures en rangées (% des terres améliorées)(2)								
		10			10-25			25		
		Jachère estivale (% des terres cultivées)(3)								
		<30	30-40	>40	<30	30-40	>40	<30	30-40	>40
Faible	<30								sans objet	
	30-75									
	>75									
Modéré	<30								sans objet	
	30-75									
	>75									
Élevé	<30								sans objet	
	30-75									
	>75									

(1) D'après la carte 2.

(2) D'après Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976; Terres cultivées = terres en cultures - prairies artificielles + jachères estivales: Cultures en rangées = pois + haricots + maïs grain + maïs à ensilage + soja + tournesol + pommes de terre + tabac + betteraves sucrières + autres cultures + légumes + petits fruits + pépinières. Voir définition des terres améliorées à la carte 1.

(3) D'après Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976. Terres cultivées définies comme ci-dessus.



Carte 3

A l'heure actuelle, il n'existe aucune donnée quantitative permettant de déterminer la vitesse d'érosion que connaissent les sols cultivés dans les vallées colombiennes.

Les problèmes d'érosion qui sévissent dans ces sols travaillés ne semblent en rien sur le point de diminuer, puisque tout indique que la culture intensive ira en s'accentuant, particulièrement dans les basses terres de l'intérieur (24, 25). La pratique de la non-culture et de la culture minimale comportent probablement certaines possibilités d'atténuation de l'érosion des sols, mais elles sont tout à fait ignorées. Une meilleure maîtrise des techniques d'hydro-amélioration combinée à un emploi accru de l'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte plutôt que par distribution à la surface pourrait finir par réduire l'érosion des sols irrigués. Dans les vergers, la couverture du sol par des gazons élimine pour ainsi dire l'érosion hydrique, cependant que dans les vignobles on pratique habituellement une culture de desherbage complet; pour cette raison l'irrigation, les eaux de fonte et les eaux de pluie y érodent parfois les sols.

L'érosion hydrique est parfois causée par les véhicules récréatifs et les véhicules de prospection qui détruisent la maigre couverture herbeuse dans la région du plateau intérieur aride. Ceci donne lieu à la formation de ravins pendant la fonte des neiges et après de fortes pluies. Les phénomènes de renard et d'affaissement qui surviennent dans les sols limoneux de terrasses dans de nombreuses vallées intérieures découlent aussi de la concentration d'eau provenant des routes, des toits de bâtiments et des fosses septiques de même que de l'irrigation en général.

2.2 La région des grandes plaines

Dans cette région, l'érosion hydrique des sols est liée à l'écoulement annuel des eaux de pluie et des eaux de fonte dans les extrémités les plus humides de la zone agricole, particulièrement à la naissance des contreforts de l'Alberta, dans le district de Rivière-de-la-Paix, dans la zone des sols gris luvisoliques et dans la plaine d'inondation du Manitoba méridional. Ailleurs dans cette région, l'érosion hydrique des sols est généralement un problème occasionnel lié aux apparitions de pluies violentes mais rares. Ces phénomènes de courte durée provoquent des dommages localisés aux monticules et aux champs inclinés, ce qui entraîne souvent un mouvement des sols sur des distances relativement courtes, habituellement comprises à l'intérieur d'un même champ.

L'érosion périodique découlant des eaux de fonte et de ruissellement annuel affecte tout particulièrement les sols du district de Rivière-de-la-Paix. De manière générale, les sols de cette région possèdent des horizons superficiels à texture

fine qui les rendent vulnérables à l'érosion ainsi que des horizons de sous-surface à perméabilité lente. Le déboisement extensif pratiqué dans les secteurs amont des bassins d'alimentation des cours d'eau engendre des problèmes puisque les canaux existants n'ont pas toujours la capacité voulue pour recevoir les eaux gonflées, particulièrement au printemps. Lorsque l'érosion des sols conduit à la sédimentation des particules dans le chenal des cours d'eau, la capacité de ceux-ci s'en trouve encore réduite. Les inondations et le ravinement dans les champs qui bordent les cours d'eau sont souvent un problème, tout comme dans le cas de l'érosion causée par les apports non contrôlés d'eaux d'écoulement provenant des fossés de routes, particulièrement au voisinage des ponceaux.

Il a été démontré que la jachère d'été entraînait des pertes de sol de quatre à huit fois plus élevées pendant la période de fonte des neiges que si les terres avaient été laissées en chaumes (78). Même si la jachère a tendance à être moins répandue dans le district de Rivière-de-la-Paix que dans les autres régions des Prairies, elle contribue néanmoins au problème de l'érosion des sols. Les mesures contre l'érosion comme l'aménagement de voies d'eau gazonnées et la culture selon les courbes de niveau ou la culture en bandes y sont généralement absentes. Il en est de même pour les ouvrages régulateurs appropriés comme les évacuateurs à entonnement et les barrages submersibles destinés à empêcher le ravinement dans les canaux existants. La rivière de la Paix et ses affluents sont profondément encaissés dans le plateau et constituent de ce fait un obstacle majeur au contrôle de l'écoulement dans des canaux. Jusqu'à ce jour, peu de mesures de lutte ont été mises en oeuvre, si bien que l'érosion naturelle a été accélérée par les débits accrus résultant du défrichement. La Direction de la conservation écologique de l'Alberta (Alberta Environmental Conservation Authority) a reconnu ce district comme zone particulièrement vulnérable à l'érosion et où il est nécessaire que les pratiques agricoles, l'utilisation du sol et les méthodes de gestion de l'eau soient bien adaptées au secteur (119).

Des conditions analogues existent dans les zones de sols noirs chernozémiques et de sols gris luvisoliques du pied des contreforts albertains et de la partie nord-est de cette région. A la naissance des contreforts, les organismes chargés de la protection du milieu s'inquiètent du défrichement, du pacage et du travail du sol pratiqués au voisinage des cours d'eau, ce qui entraîne la sédimentation des particules et la dégradation de l'habitat aquatique. En Saskatchewan, des travaux coopératifs d'aménagement hydrographique ont été entrepris en 1956, surtout dans le bassin de la rivière Carrot ainsi que dans d'autres bassins hydrographiques de la région de Prince-Albert - Tisdale, de même que dans le bassin supérieur

de l'Assiniboine dans la région de Yorkton-Kamsack. Ces programmes ont permis de réunir les fonds et le soutien technique nécessaires pour arriver à stabiliser les canaux et à établir des voies d'eau gazonnées, des méthodes de culture selon les courbes de niveau, la rotation des légumineuses ainsi que d'autres mesures de lutte contre l'érosion (49). Des problèmes d'érosion des sols analogues ont aussi été constatés aux environs des monts Duck et Riding au Manitoba (54). Dans les collines Tiger et Pembina ainsi que dans la région du mont Turtle (Manitoba méridional) de même que dans la vallée de la rivière Rouge, l'érosion hydrique subit en plus l'influence de tempêtes d'intensité généralement plus fortes, entraînant une dégradation poussée des sols (53).

Les tempêtes d'été violentes mais peu fréquentes qui se produisent dans la zone de faibles précipitations des plaines intérieures constituent une cause importante d'érosion hydrique locale. Le problème est caractérisé par l'érosion en nappes localisées des buttes et par l'érosion en ravins près des ponceaux de routes. Les plus grands effets sont observés dans la partie méridionale de la région où l'intensité des pluies est la plus forte et où la jachère d'été est la plus pratiquée. Les tempêtes ont tendance à être localisées et brèves, en outre elles se produisent rarement au même endroit au cours de deux années consécutives. On ne dispose que de peu de données pour prédire les apparitions de tempêtes, c'est pourquoi les pratiques agrologiques n'en tiennent généralement pas compte. Toutefois, l'érosion peut être considérable lorsque ces tempêtes se produisent. Dans une étude menée près d'Edmonton (117), on a constaté que plus de 4 tonnes de sol par hectare avaient été perdues en moins d'une heure comparativement à des pertes annuelles moyennes réparties sur une période de 10 ans de 2 t/ha sur des parcelles mises en jachère pendant l'été. L'érosion découlant de la jachère a été en moyenne de deux fois supérieure à celle faisant suite à la culture du blé dans une alternation blé-jachère, et de quarante fois supérieure à celle faisant suite au blé dans une rotation de 5 ans avec de l'avoine, de l'orge et du foin.

Presque toute l'irrigation de la région est pratiquée dans certains districts municipalisés de l'Alberta méridionale, ainsi que dans un secteur de moindre dimension en Saskatchewan. De petits travaux d'irrigation sont en cours un peu partout dans le sud de la Saskatchewan, nombre d'entre eux étant destinés au foins ou au pâturage. Dans certains champs, de piètres méthodes d'arrosage n'ont réussi qu'à éroder les sols, mais plus graves sont les exemples de mauvaise gestion des écoulements restitués et des eaux d'irrigation inutilisées. Celles-ci ne reçoivent souvent qu'une attention minimale entraînant un déversement aléatoire dans les cours d'eau et les fossés, ce qui donne lieu à l'érosion en ravins et à l'érosion des berges, puis au dépôt de limon dans les cours d'eau et finalement à la dégradation de ceux-ci.

2.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

La combinaison des sédiments fluviaux au transport du phosphore vers les Grands Lacs a récemment mené à une étude poussée de l'érosion des sols et du déplacement des sédiments en ce qui concerne les pratiques agricoles (122). On a procédé à des estimations du rôle des activités agricoles dans la charge en suspension dans les cours d'eau, puis on a cartographiée les zones en cause et des mesures correctives ont ensuite fait l'objet de discussions et de comparaisons entre elles. Comme résultat, c'est probablement en Ontario plus que n'importe où ailleurs au Canada que les renseignements sur le sujet sont les meilleurs.

De manière générale, l'Ontario n'a pas été tellement affecté par l'érosion des sols jusqu'aux années 60 quand la superficie consacrée au maïs et autres cultures en lignes a augmentée. Par conséquent, les programmes de lutte contre l'érosion ne sont pas encore bien établis. Avec les tendances actuelles dans les pratiques culturales et le regain d'intérêt pour la qualité des eaux, la situation est appelée à changer. En Ontario, un nouveau programme de subventions incitatives permet maintenant d'obtenir une aide financière limitée pour lutter contre l'érosion.

La lente évolution vers la production du maïs et du soya aux dépens du foin et des petites céréales se poursuit dans toute la partie agricole de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent à mesure que sont rendues accessibles de nouvelles variétés adaptées au nombre d'unités caloriques disponibles dans les zones plus froides. Les labours d'automne sont pratiqués de façon extensive dans ces secteurs afin d'éviter tout retard au moment des semailles du printemps. Des lignes de clôtures ont été enlevées et certaines parcelles boisées ainsi que certaines zones de végétation dense à proximité des cours d'eau ont été déboisées puis défrichées pour faciliter l'emploi des grandes machines agricoles. Les sols à texture fine et à texture moyenne, donc très érodables, mais ne disposant plus d'une bonne couverture protectrice se retrouvent exposés à l'impact des gouttes de pluie et au ruissellement des eaux de fontes.

Dans les zones du sud de l'Ontario dont le potentiel d'érosion est le plus élevé, où la force des pluies et l'érodabilité des sols sont les plus grandes, les sols soumis à la monoculture du maïs sur des terrains relativement horizontaux subissent, suivant certaines estimations (122), une érosion de l'ordre d'environ 12 t/ha/an, tandis que les sols sur lesquels sont pratiqués une rotation maïs-foin ne devraient pas subir une érosion supérieure à environ 7 t/ha/an. En général, les pâturages donnent lieu à une érosion inférieure à une t/ha/an. Dans l'étude sur le terrain effectuée dans le sud-ouest de l'Ontario, on a constaté que la monoculture du maïs sur une pente de 7% donnait lieu à des pertes de sol de 19 t/ha/an

réparties sur une période de 10 ans. Mais lorsque la culture du maïs a été pratiquée en rotation avec celle du foin et de l'avoine, les pertes ont été à peine supérieures à une t/ha/an (125). Dans une étude sur le terrain effectuée dans l'est de l'Ontario, la monoculture du maïs pratiquée parallèlement à une pente de 10% sur des sols argileux à perméabilité lente a donné lieu à des pertes de sol moyennes sur 12 ans de 49 t/ha/an. Lorsque le maïs était cultivé en rotation, fumé et planté selon les courbes de niveau, l'érosion sous-jacente à la plante était légèrement réduite mais s'établissait encore en moyenne à 31 t/ha/an (93).

L'effet de cette forte érosion sur la qualité des eaux dépend du degré de transfert des matériaux de sols érodés vers les cours d'eau. On a déterminé que le "coefficient de prise en charge" se situait entre environ 10% et 30% (122). La plus grande partie des particules transportées est acheminée vers les cours d'eau en février, en mars et en avril. Les problèmes de qualité des eaux se trouvent encore aggravés par l'existence d'un réseau étendu de fossés de drainage municipaux qui assurent à chacun des agriculteurs un service amélioré d'exutoires de drainage, mais qui agissent aussi comme conduites pour les sols érodés. Ces fossés s'érodent souvent puis s'affaissent, contribuant ainsi à aggraver les problèmes de sédimentation dans les cours d'eau.

En Ontario, l'érosion des sols est perçue différemment, suivant qu'il s'agit de personnes s'occupant de production agricole ou de personnes s'intéressant à la qualité des eaux. Du point de vue de la productivité agricole, les vitesses moyennes d'érosion des sols prévues n'ont pas été considérées comme extrêmes par comparaison aux pertes soutenables acceptées qui ont été déterminées pour les Etats-Unis (128). Cela s'explique surtout par le pouvoir d'érosion relativement faible de l'eau par suite de l'intensité des pluies en Ontario comparativement à celles que connaissent les Etats de l'Est américain.

Dans une étude, on a conclu que l'effet de l'érosion sur le rendement du maïs était trop faible pour justifier des mesures de lutte (60). Néanmoins, la vitesse d'érosion est étroitement liée à la nature des sols canadiens et à leur profondeur relativement restreinte. La productivité des parcelles ou de certaines parties de ces parcelles pourrait devenir gravement menacée si on n'améliore pas sous peu les techniques agrologiques employées (travail du sol suivant les courbes de niveau, culture minimale, labourage du printemps, ensemencement de plantes hivernales de couverture et recours à la rotation des cultures). Toutes ces mesures sont particulièrement indiquées dans les cas où est pratiquée la monoculture à larges interlignes comme le maïs, les haricots et les pommes de terre (57).

Du point de vue de la qualité des eaux, les matériaux à texture fine érodés à partir des parcelles recevant beaucoup d'engrais qui jouxtent les cours d'eau et les fossés contribuent à la pollution des cours d'eau et des lacs par le phosphore. Dans certains cas, des pesticides et d'autres produits contaminants sont aussi transportés en même temps que le phosphore et, ensemble, ces matières polluantes entraînent la dégradation des eaux douces et des Grands lacs. On a estimé qu'environ 26% du phosphore total et 60% des charges diffuses de phosphore déversées dans les Grands Lacs à partir du côté canadien du bassin pouvaient être attribuées à l'agriculture, le tout découlant surtout de l'érosion des sols (29). Dans un tel contexte, il convient de prendre des mesures correctrices afin d'empêcher les sols érodés de parvenir jusqu'aux cours d'eau, particulièrement quand il s'agit de la fraction argileuse. La réduction de la vitesse d'érosion grâce à des techniques améliorées ne semble pas suffisante, c'est pourquoi d'autres mesures (comme l'emploi de bandes d'eau enherbées et de voies d'eau gazonnées) seront éventuellement nécessaires, même si elles se révèlent par la suite d'un intérêt économique minimal pour la production agricole.

L'agriculture québécoise des basses terres du Saint-Laurent a connu des changements analogues à ceux que l'Ontario a connu au cours des deux dernières décennies (57). La production du maïs d'ensilage a particulièrement augmenté tandis que celle du foin et de l'avoine diminuait (24, 25). Les sols en cause ont généralement une texture fine et sont presque à niveau. On ne s'inquiète pas trop des répercussions de l'érosion des sols sur la qualité des eaux puisque les eaux de drainage s'écoulent presque directement vers le fleuve Saint-Laurent et qu'il n'existe que peu de grands lacs dans les zones agricoles.

Certaines vitesses d'érosion hydrique ont été mesurées près du lac Saint-Jean et sur la rive nord du Saint-Laurent, à l'est de Québec (35, 36). A la station du lac Saint-Jean, l'érosion moyenne a varié entre moins 1 kg/ha/an sur des sols en foin et 56,6 t/ha/an sur des sols loameux jachérés connaissant une pente uniforme de 10%. A la station de la rive nord, où les sols sont des loams sablo-graveleux à pente de 15%, les pertes de sol sur 10 ans ont oscillé entre 60 kg/ha/an pour les pâturages et plus de 28 t/ha/an pour les sols en jachère nue. Sur les parcelles de pommes de terre ensemencées perpendiculairement à la pente, les pertes de sol qui ont été enregistrées n'étaient que de 3,3 t/ha/an, tandis qu'on a observé des pertes moyennes de 6,0 t/ha/an dans le cas des parcelles en pommes de terre plantées parallèlement à la pente. En moyenne, 41% des pertes de sol annuelles moyennes provenant des différentes cultures, à cette station, se sont produites au cours de la fonte des neiges du printemps.

A la grandeur de cette région, toute une gamme de méthodes peuvent être employées pour réduire l'érosion totale. Toutefois, l'excédent d'eau constitue un problème, particulièrement au printemps. On a beaucoup amélioré le drainage, mais d'autres travaux sont considérés nécessaires dans l'est de l'Ontario et au Québec (22). A certains égards, ces améliorations sont incompatibles avec la faible érosion des sols et le peu de transport des matériaux meubles, particulièrement en ce qui concerne les sols lourds à coefficient de Darcy faible. Les deux exigences doivent être attentivement comparées afin de ne pas améliorer le drainage superficiel aux dépens de la conservation des sols.

Dans la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent, et plus particulièrement dans le sud-ouest de l'Ontario, l'écoulement annuel périodique et les tempêtes violentes qui sévissent en été contribuent à l'érosion des sols. Dans l'est de l'Ontario et dans l'est du Québec, seule une faible proportion de la superficie est cultivée en lignes, ce qui donne lieu à un problème d'érosion généralisé que l'on peut qualifier de modéré à faible (carte 3). Toutefois, si la tendance vers l'intensification des cultures marchandes se poursuit, les problèmes d'érosion devraient sûrement augmenter de façon appréciable.

2.4 La région de l'Atlantique

Les provinces de l'Atlantique possèdent les plus fortes pluies annuelles et l'écoulement le plus abondant au Canada, exception faite de la Côte-ouest et des versants occidentaux des Rocheuses. Depuis de nombreuses années, on constate l'existence de problèmes d'érosion hydrique des sols à la grandeur de la région. Au Nouveau-Brunswick et dans l'Ile-du-Prince-Edouard, la production de pommes de terre a longtemps souffert de ce problème. Plus récemment toutefois, les progrès du maïs comme plante d'ensilage augmentaient la superficie des terres sujettes à l'érosion hydrique. A Terre-Neuve, il existe peu de terres cultivées et celles qui existent servent surtout à la culture du foin; seule une petite partie est consacrée aux pommes de terre, à l'avoine et aux légumes. Par conséquent, les problèmes d'érosion y sont généralement négligeables quand on les compare à ceux du reste de la région et ils sont liés surtout à l'érosion des berges et des rivages.

Dans la région de l'Atlantique, les conditions locales qui contribuent à l'érosion des sols sont les suivantes: un relief allant de ondulé à fortement vallonné, la présence d'horizons de sous-surface à perméabilité lente dans de nombreux sols, les fortes précipitations d'automne et d'hiver ainsi que la fréquence des cycles de gel-dégel. Le sol des régions de pomme de terre est généralement laissé à l'état dénudé et meuble après les récoltes et pendant l'hiver. La monoculture sans rotation est courante. Dans le cas du maïs, les chaumes courts et bien

espacés qui restent sur place après la récolte de l'ensilage ne donnent aux sols qu'une protection bien faible. Cette situation engendre l'érosion en nappe, en rigoles et en ravins, particulièrement pendant la fonte des neiges et à l'occasion des tempêtes survenant pendant la période de repos végétatif. L'épierrage visant à faciliter la récolte mécanique des pommes de terre ainsi que la suppression des lignes de clôtures pour faciliter l'accès de matériel agricole plus gros, n'ont fait qu'accentuer le problème puisque la vitesse d'infiltration a été réduite et la longueur des champs inclinés a été accrue. Il en résulte une grave érosion des sols à la grandeur de la région et ce sont les cultures du maïs, des pommes de terre et des autres plantes à larges interlignes qui occasionnent les plus grands risques. Les sols superficiels les plus intéressants ainsi que leurs éléments nutritifs sont entraînés et les fossés ainsi que les cours d'eau s'engorgent de sédiments. On ne s'inquiète pas trop toutefois de la qualité des eaux en raison de la proximité de l'océan où se jettent les polluants transportés par les cours d'eau.

Dans l'Ile-du-Prince-Edouard, on a mesuré la vitesse d'érosion sur l'un des principaux types de sols cultivés. Sur une période de 5 ans (1973-1977), les pertes de sol mesurées ont oscillé entre 0,2 t/ha/an sur des pentes en friche de 7% et de 12% à 19,6 t/ha/an sur une pente de 12% occupée par des pommes de terre cultivées parallèlement à la pente. Les pertes de sol lorsque la pomme de terre était cultivée parallèlement à la pente ont été d'environ la moitié de celles qui avaient été mesurées en 1973 et 1974 lorsque les sols étaient en jachère. Entre 1975 et 1977, les champs occupés par la pomme de terre cultivée selon les courbes de niveau ont donné lieu à des pertes de sol moyennes d'environ le tiers de celles qui avaient été constatées pour la culture parallèlement à la pente. En même temps que ces pertes de sol, on a constaté une baisse considérable des matières organiques et des éléments nutritifs compris dans les sols superficiels, ce qui a rendu les stations encore plus érodables au cours des années suivantes.

Il n'existe aucune donnée mesurée concernant les pertes de sol au Nouveau-Brunswick, mais on a estimé que les terres cultivées de cette province subissaient une érosion moyenne d'environ 42 t/ha/an (111). Dans la zone de pommes de terre du Nouveau-Brunswick, plus de 50% des sols classés agricoles ont une pente de 5% ou plus, ce qui suffit à donner naissance à l'érosion des sols même quand de bonnes techniques agrologiques sont employées. De récentes appréciations à vue indiquent qu'au moins un tiers des champs de pommes de terre sont gravement touchés par l'érosion.

En Nouvelle-Ecosse, l'évaluation de l'érosion des sols par l'eau est aussi gênée par le manque de données. Un petite étude effectuée récemment a porté sur deux années d'érosion des sols dans un champ de maïs dont la pente était de 9% (63). On a mesuré des pertes de sol moyennes d'environ 26 t/ha/an, mais on a estimé que les pertes véritables étaient beaucoup plus considérables en raison d'insuffisances dans les méthodes d'échantillonnage.

Dans la même province, la rotation des petites céréales avec le foin a permis d'enrayer le problème d'érosion des sols jusqu'à un certain point, mais au cours des dernières années, la superficie de maïs cultivé pour l'ensilage a augmenté considérablement, il en a donc été de même de l'érosion des sols. Même si la superficie consacrée au maïs est dispersée à la grandeur de la province, cette plante est surtout cultivée dans les podzols et les luvisols à texture fine que l'on trouve dans les basses-terres onduleuses des comtés de Hants et de Colchester. Des travaux ont récemment été effectués afin de réunir des renseignements concernant l'érodabilité de ces sols par l'estimation des valeurs de K dans le sol (par l'équation universelle de l'érosion) à partir de la texture, des matières organiques, de la structure et de la perméabilité (11).

Le problème de l'érosion des sols dans l'Ile-du-Prince-Edouard a fait l'objet de certaines études jusqu'ici, mais les mesures de lutte s'y révèlent difficile d'application. Certaines valeurs d'érodabilité des sols ont été déterminées pour l'ensemble de la province et on encourage les agriculteurs à aménager des voies d'eau gazonnées, des ouvrages de dérivation et à prendre toute autre mesure de lutte qui s'impose, particulièrement lorsque les eaux de ruissellement des routes se déversent sur les terres cultivées.

Une innovation a été tentée récemment pour fixer des plantes protectrices sur des terres à maïs en Nouvelle-Ecosse et dans l'Ile-du-Prince-Edouard. En août ou en septembre, on a procédé à l'ensemencement aérien de seigle et l'on a ainsi obtenu la couche protectrice voulue entre les lignes de maïs. Lorsqu'il est ensemencé à cette époque, le seigle parvient à survivre à la récolte du maïs et protège le sol pendant l'hiver. toutefois, les pommes de terre sont récoltées trop tard dans l'année pour qu'il soit possible d'y semer les plantes protectrices voulues et la perturbation du sol au cours des récoltes ne permettrait pas à des plantes protectrices qui auraient été semées au préalable de survivre. Les exploitants agricoles ne voient pas d'un trop bon oeil les méthodes de rotation puisque le bétail est le plus souvent absent des exploitations de pommes de terre et parce que les petites céréales ont un prix du marché bien moins intéressant que les pommes de terre.

Au Nouveau-Brunswick, on a fait l'essai de certains aménagements comme l'emploi de terrasses en gradins parallèles comportant des exutoires à drains enfouis, mais elles n'ont pas reçu un trop bon accueil en raison des frais qu'elles impliquent, à cause des risques d'envasement et de gel dans la zone-exutoire et en raison du caractère peu profond d'un bon nombre des sols inclinés recouvrant un sous-sol à till dense (5). Depuis peu, l'aménagement de terrasses de déviation se généralise. Les agriculteurs sont encouragés à supprimer la

jachère et à faire appel à la rotation des cultures afin d'assurer la protectin du sol et d'augmenter la quantité qu'on y trouve (112, 113).

3.0 L'EROSION DES SOLS PAR LE VENT

L'existence dans certaines régions du phénomène d'érosion éolienne est liée à la siccité, à la vitesse élevée des vents et aux habitudes d'utilisation du sol qui laissent parfois celui-ci sans protection. Sur le plan local, l'érodabilité des sols et la mesure dans laquelle la végétation et la rugosité de la surface réduisant la vitesse des vents à la surface du sol, déterminent la vitesse et l'étendue de l'érosion éolienne. Les particules de sol les plus facilement déplacées par le vent sont celles qui sont comprises entre 0,02 mm et 0,84 de diamètre (28). Il peut s'agir de grains détachés, comme c'est le cas des sables ou des limons fins, ou encore d'agrégats stabilisés de limon et d'argile.

L'érosion éolienne est réduite lorsque les surfaces de sols dénudées sont sillonnées à l'occasion de leur mise en culture ou lorsque la surface est laissée dans un état motteux, particulièrement lorsque cette rugosité est orientée transversalement à la direction des vents. Pour éliminer l'érosion éolienne, on recourt essentiellement à la protection assurée par certaines plantes ou par une couche de débris de culture. La distance comprise entre les espaces protégés par ce moyen, soit entre les bandes lorsqu'il s'agit d'une zone cultivée en bandes ou entre les brise-vent, permet de déterminer la vulnérabilité des ensembles de parcelles dénudées à la dérive éolienne des sols (2, 28).

C'est lorsque le sol subit à la fois les effets de labourage excessif et de la sécheresse qu'il est le plus exposé aux dangers de l'érosion éolienne, mais de nombreux sols et certaines pratiques agrologiques, même dans les régions les plus humides du Canada, présentent des conditions propices à l'érosion éolienne à certaines époques de l'année. Les sols organiques drainés et déboisés sont aussi très vulnérables à l'érosion éolienne, surtout lorsque leur surface s'assèche et lorsque leur couverture cultivée est inappropriée.

Depuis 40 ans, on s'intéresse beaucoup moins à l'érosion des sols par le vent qu'à l'époque des années 20 et 30 lorsque les premières études sur la question ont paru au Canada. Cela s'explique par le fait que les pratiques agrologiques se sont beaucoup améliorées après la période du "dust bowl" par la reconversion de certains des sols les plus vulnérables au pâturage permanent plutôt que leur mise en culture annuelle et par la baisse de fréquence des sécheresses graves. Toutefois, on a constaté une augmentation des cas d'érosion éolienne dans presque toutes les provinces au cours des dernières années. Malheureusement, il n'existe que peu d'études sur la question.

La carte n° 4 indique les risques relatifs d'érosion éolienne à travers le Canada. Cette carte a été préparée à partir de la vitesse maximale du vent dans une heure et dans un cycle de dix ans, de la classe d'humidité (établie d'après le déficit annuel moyen en eau) celle-ci fournissant une estimation de la siccité du sol et de la texture du sol superficiel, laquelle est liée à l'érodabilité. Sur la carte n° 5, la répartition et l'intensité des méthodes culturales sont employées pour pondérer l'évaluation des risques indiquée à la carte n° 4 et pour indiquer le degré et la portée de l'érosion éolienne actuellement en cours.

3.1 La région cordilléranne

L'érosion des sols ne semble pas être un problème très généralisé dans cette région sauf pour ce qui est de certains sols organiques de la vallée du Bas-Fraser qui servent au maraîchage. L'origine éolienne de certains des sols de la région les rend vulnérables à la dérive, laquelle peut aussi se produire dans les sables fluvio-glaciaires et dans les limons lacustres lorsque ceux-ci sont exposés et secs. Dans certains sols appartenant aux vallées de la Colombie méridionale, la culture intensive a conduit à une érosion éolienne intermittente et parfois même à la formation de dunes.

On s'est intéressé en outre à l'effet du passage des véhicules sur les sols, particulièrement ceux qui sont employés dans les activités de loisirs, à travers les vastes pâturages du plateau intérieur aride. Le problème tient à la facilité de destruction des plantes dans ce fragile écosystème et au compactage dû au passage des roues. Comme la région est en même temps exposée au surpâturage, il s'ensuit parfois un problème d'érosion éolienne.

3.2 La région des grandes plaines

Les sols bruns et brun foncés du centre-sud et du sud-ouest de cette région ont été soumis à une érosion éolienne intense des années 20 aux années 40. Une surexploitation agricole, la pratique trop poussée de la jachère d'été ainsi que les pluies exceptionnellement faibles ont provoqué un désastre socio-économique et une période de bouleversements agricoles inouïs (3). La restauration des formations herbacées dans les zones les plus sensibles, la plantation de brise-vent, l'acceptation des bandes alternantes contre l'érosion éolienne, la conservation des débris de surface (qui a à peu près éliminé la charrue à soc) et le maintien des sols motteux pendant l'hiver comme pratique agricole normale, le tout lié à des précipitations annuelles plus fortes et à une compétence accrue de la part des agriculteurs ont finalement contribué à améliorer la situation. Depuis cette époque, les conditions agricoles sont

plus rassurantes, mais la vigilance s'impose. La partie méridionale de la région, qui va de Pincher Creek à Moose Jaw, est la plus vulnérable, puisqu'on y rencontre une combinaison de vents forts et fréquents ainsi que de faibles précipitations (27, 119).

Les décennies qui ont suivi la pire époque d'érosion éolienne furent des années relativement moins dangereuses puisqu'elles ont connu des chutes de pluies suffisantes. Les agriculteurs sont devenus plus sûrs d'eux et les pratiques de lutte contre l'érosion éolienne ont été négligées (119). Certains des brise-vent qui avaient été installés dans les premiers jours de revalorisation des sols ont été enlevés en raison des inconvénients qu'ils présentaient et des accumulations de neige excessives qu'ils occasionnaient en hiver ce qui favorisait la salinité des sols dans certaines régions (voir section 5.2).

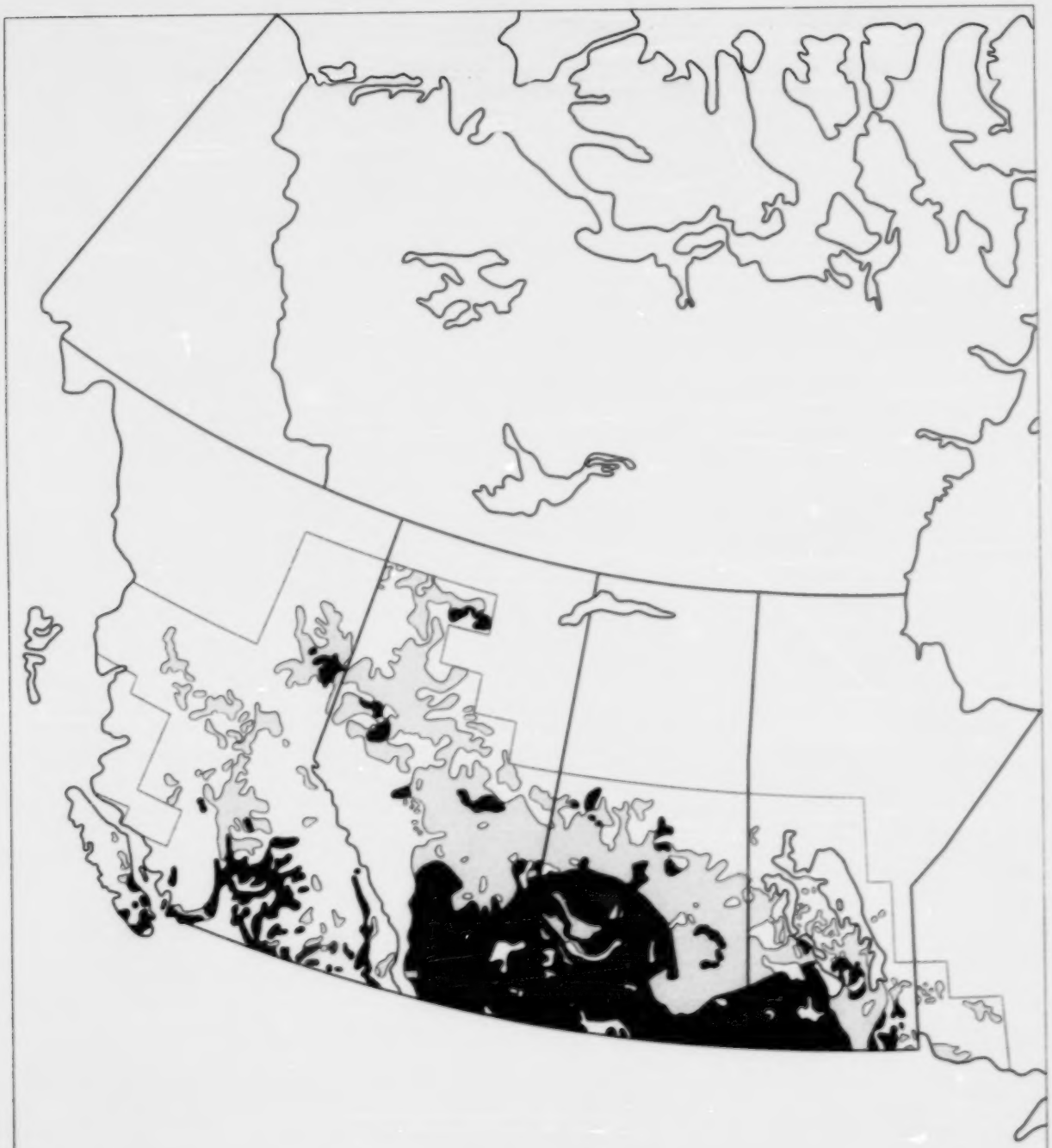
Au cours des dernières années, des problèmes locaux sont réapparus à cause de l'érosion éolienne. Comme aucune mesure n'avait été faite sur le degré d'érosion subi par les sols, des "tempêtes de poussière" ont été signalées dans les parties méridionales de chacune des provinces des Prairies, et ce, de plus en plus fréquemment. La Loi sur la conservation des sols de l'Alberta (Alberta Soil Conservation Act) a été invoquée pour exiger des exploitants agricoles qu'ils entreprennent de lutter contre l'érosion éolienne en appliquant des mesures d'urgence comme le sous-solage des sols gelés pour enrayer la dérive éolienne.

Plusieurs facteurs semblent favoriser la réapparition de conditions propices à l'érosion. L'équipement lourd est le plus efficace lorsqu'il est employé sur de vastes parcelles. L'espacement optimal de la culture en bandes va de 25 m dans les loams sableux fins à 100 m dans les sols à loams argileux (2), mais cette méthode de culture est de moins en moins répandue puisque le plus souvent elle n'est pas compatible avec l'emploi des grosses machines agricoles de plus en plus répandues aujourd'hui. Les machines larges ont aussi tendance à "arraser" les buttes, ce qui favorise l'amorce de la dérive éolienne. En outre, l'amélioration récente des conditions économiques présidant à la culture du blé et du colza, pendant que l'industrie bovine connaît certaines incertitudes, a favorisé la mise en place des grandes cultures aux dépens des plantes fourragères. Dans un même temps, certaines terres marginales auparavant consacrées à la prairie permanente ont été mises en exploitation. Toutefois, les cycles économiques pourraient renverser cette tendance.

La conservation de déchets de moisson est la façon la plus efficace de réduire l'érosion éolienne, particulièrement dans les régions les plus affectées par les cycles de gel-dégel-assèchement provoqués par les vents chinook (56).

Carte 4 Risques relatifs d'érosion éolienne.

Carte 5 Risques relatifs d'érosion éolienne modifiés par les pratiques culturales de 1976.



Carte 4: Risque relatif d'érosion éolienne.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Faible: voir tableau ci-dessous

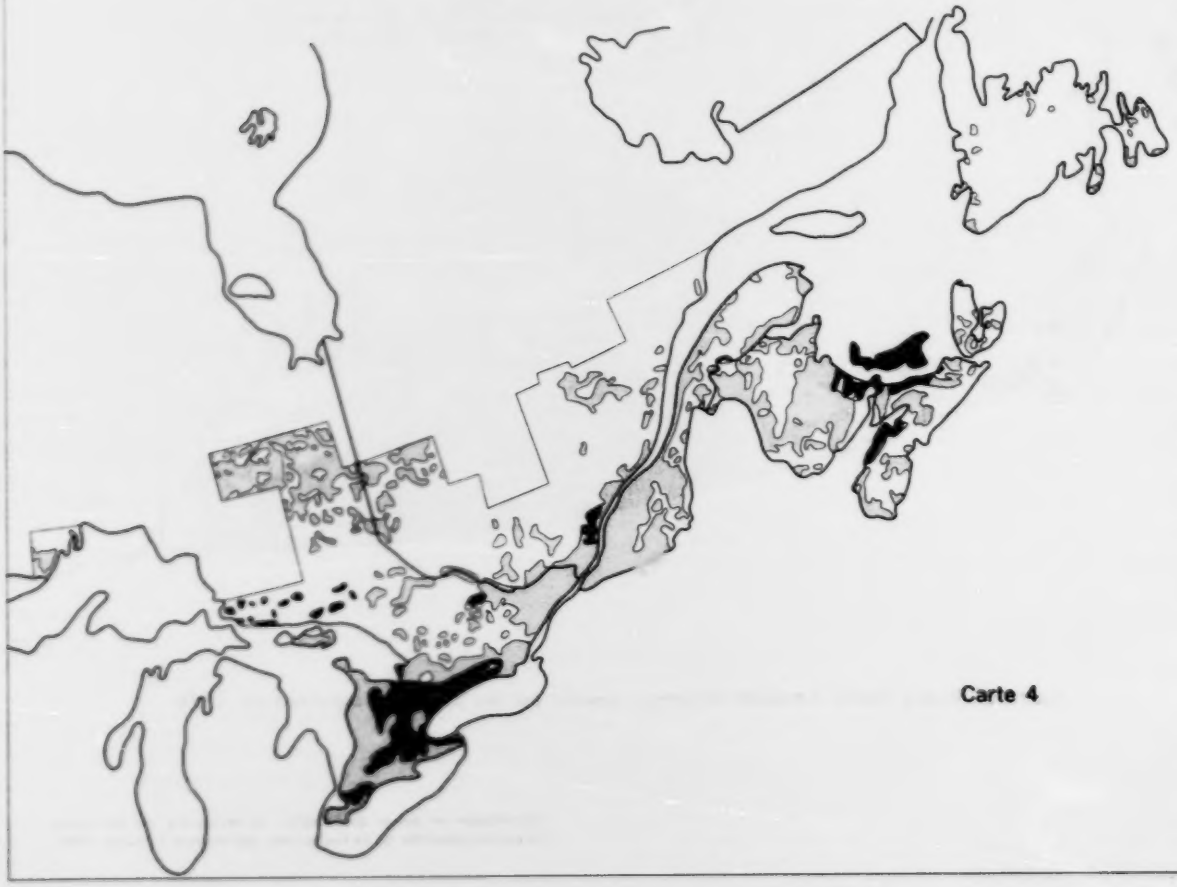
Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

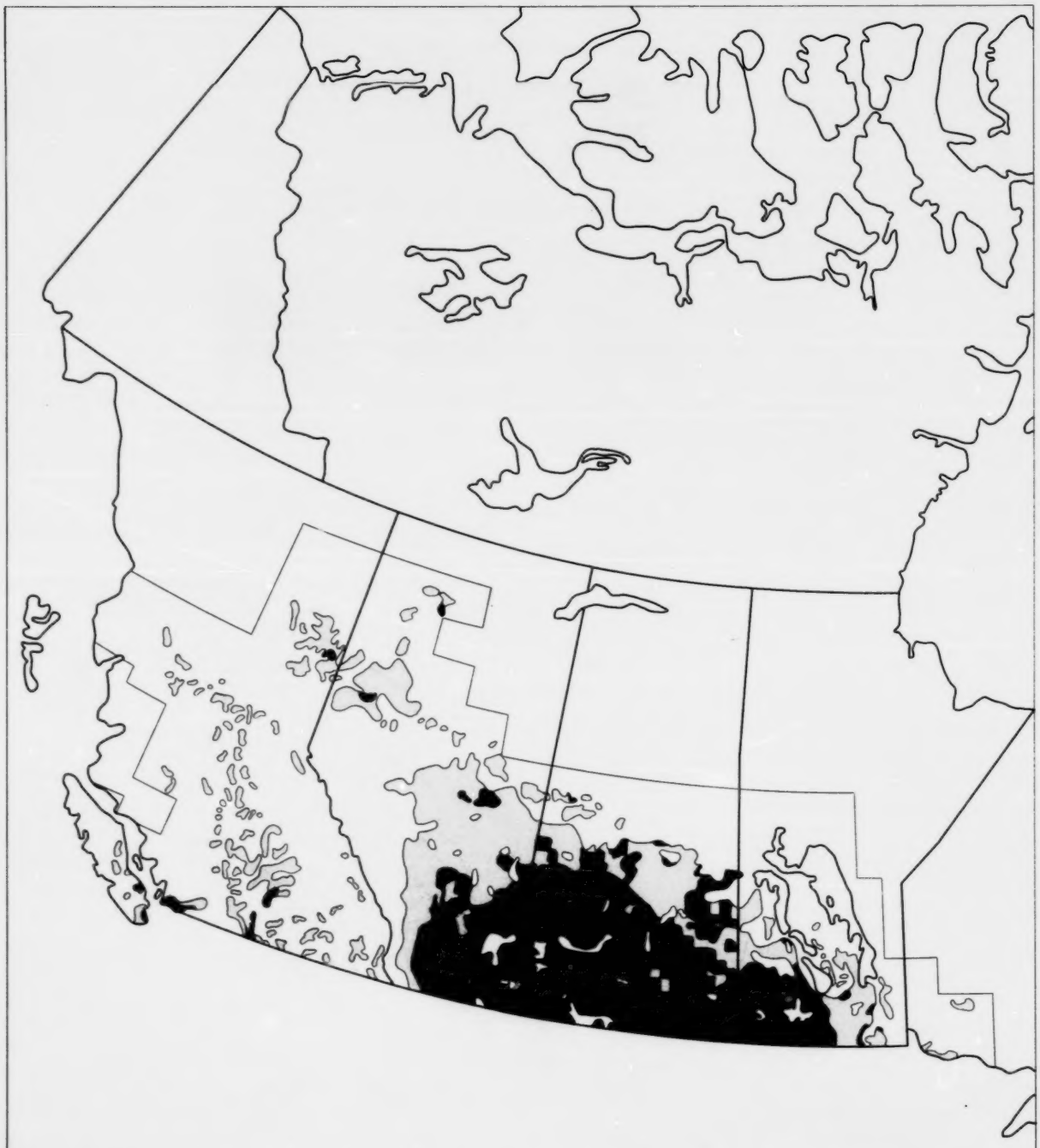
Texture du sol superficiel (1)	Vitesse maximale du vent sur une heure pour 10 ans(2)											
	< 80 km/h				80-100 km/h				> 100 km/h			
	Classe d'humidité des sols(3)											
	LM	HK	EFG	CD	LM	HK	EFG	CD	LM	HK	EFG	CD
Argileux												
Loameux												
Sableux												

(1) D'après des données publiées et non publiées sur les sols.
(2) D'après: Service de l'environnement atmosphérique, Normales canadiennes, Vol. 3, Vent, 1955-72, Environnement Canada, Downsview (Ont.), 1975.
(3) D'après Chapman, L.J. et Brown, D.M., *The Climates of Canada for Agriculture, Soil Moisture Classes*, Inventaire des terres du Canada, rapport nº 3, Ottawa, 1966.

Classe d'humidité	Déficit d'eau (mm)
LM	0-75
HK	75-125
EFG	125-230
CD	>230



Carte 4



Carte 5: Risque relatif d'érosion éolienne, modifié par les pratiques agricoles de 1976.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

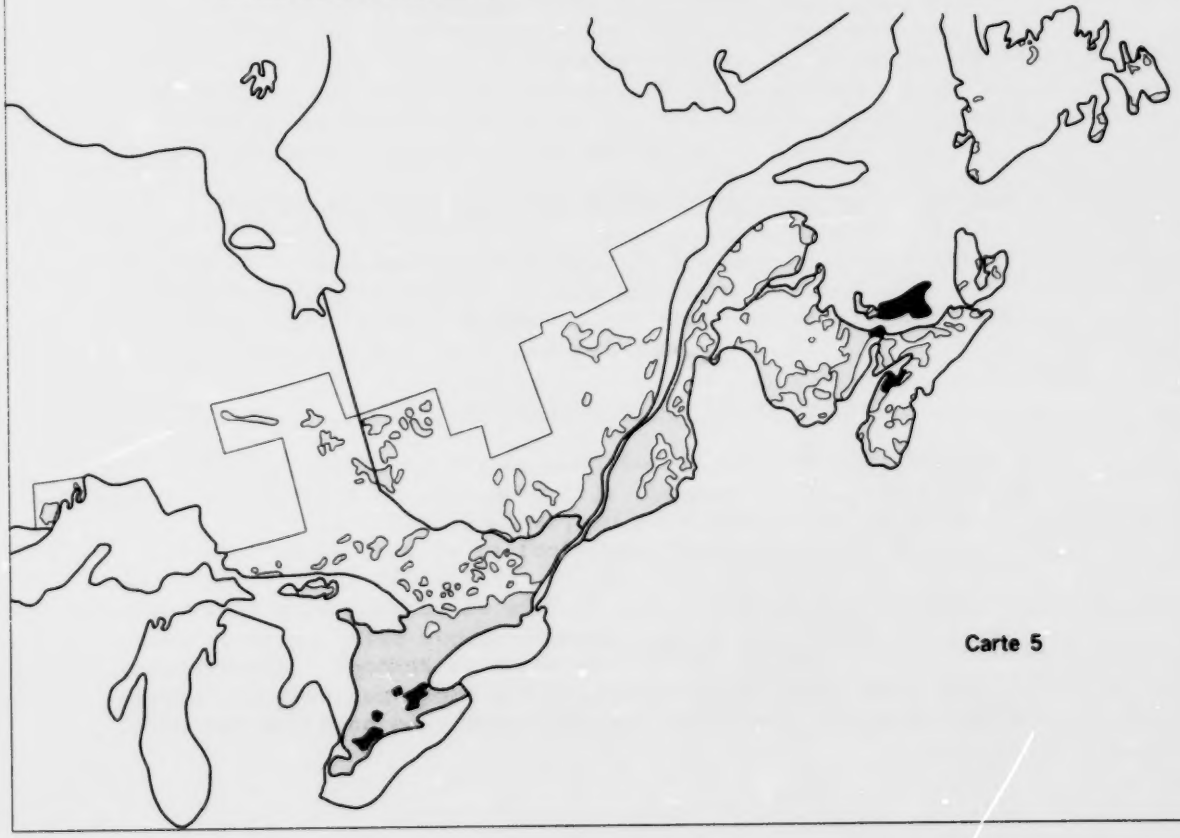
Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

Rique relatif d'érosion éolienne(1)	Terres cultivées (% des terres améliorées)(2)	Jachères estivales (% des terres cultivées)(3)		
		<30	30-40	>40
Faible	<30			
	30-75			
	>75			
Modéré	<30			
	30-75			
	>75			
Élevé	<30			
	30-75			
	>75			

(1) D'après la carte 4.
(2) Terres cultivées = terres en cultures - prairies artificielles + jachères estivales; Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976.
(3) Jachère estivale est définie dans Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976 et exprimée en pourcentage des terres cultivées.



Carte 5

L'intérêt actuel pour la grande culture sans labours des prairies permet de croire qu'une fois surmontés les problèmes mécaniques et les problèmes de lutte contre les parasites liés au non labour, cette dernière pratique sera de mieux en mieux acceptée et elle mènera enfin à la baisse souhaitée de l'érosion éolienne. En outre, une certaine tendance se dessine quant à l'emploi de plus en plus restreint de la jachère d'été en Alberta et au Manitoba, ce qui permet de mieux lutter contre l'érosion éolienne. En Saskatchewan, toutefois, la proportion jachère d'été-espace cultivé est toujours aussi élevée (24, 25).

Dans les parties plus humides de ces provinces, l'érosion éolienne est moins inquiétante en raison des précipitations légèrement plus fortes, de la vitesse inférieure des vents, de la pratique de la monoculture et d'une culture fourragère plus extensive et en raison des plantes plus variées et plus susceptibles de briser la vitesse du vent (arbres et arbrisseaux). Cependant, une culture excessive des sols noirs chernozémiques qu'on y trouve pourrait laisser ces sols dans un état "léger et pulvérulent", c'est-à-dire dans un état plus vulnérable à l'érosion éolienne locale. Le district de Rivière-de-la-Paix connaît parfois certains problèmes d'érosion éolienne lorsque règnent des conditions de vents forts et de sols secs (119). Ces problèmes sont cependant moins critiques que dans les prairies du centre-sud. Dans les sols sableux du bassin de la rivière Souris ainsi qu'en amont et en aval du delta de l'Assiniboine au Manitoba, l'érosion éolienne a été très violente et, aujourd'hui encore, elle semble rester un problème chronique (54). Différents endroits de la vallée de la rivière Rouge ont aussi souffert de l'érosion éolienne à un point tel qu'aujourd'hui le matériau de l'horizon B est ramené à la surface pendant le travail du sol (53).

La dérive éolienne constitue aussi un danger pour les zones de sols organiques du Manitoba. Certains efforts visant à drainer et à cultiver ces sols pour la production des céréales, en ne modifiant que légèrement les pratiques culturales employées pour les sols minéraux, ont contribué à accroître les risques d'érosion éolienne dans ces sols.

3.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

L'érosion éolienne est un problème de plus en plus important dans le sud-ouest de l'Ontario (6). La période la plus critique se situe vers la fin de l'hiver, au printemps et au début de l'été lorsque le vent ou la fonte des neiges laissent à découvert l'arête des sillons de charrues après que la gélivation a déshydraté et effrité les mottes de sols. Les vents forts de cette époque donnent lieu à une dérive des sols considérable. Pendant et après le travail du sol, particulièrement au cours des printemps inhabituellement secs, l'érosion éolienne peut aussi être un problème. Celle-ci sévit

particulièrement aux endroits où les clôtures et les haies ont été enlevées; lorsqu'une mise en culture excessive a été pratiquée pendant un certain temps, ou encore aux endroits où les sols comportent peu de matières organiques et dans lesquels la structure et l'agrégation sont faibles.

Dans les sols sableux du comté de Norfolk en Ontario et le long de la rive nord du lac Ontario, une dérive considérable a existé dans les premiers temps du défrichement et du travail du sol. Certaines dunes ont été stabilisées grâce au repiquage d'arbres et dans les zones où il ne s'est pas formé de dunes, des brise-vent ont été installés pour faciliter la culture du sol, généralement pour la production du tabac. L'emploi de mauvaises méthodes agrotechniques à l'endroit de ces sols ainsi que d'autres sols sableux a contribué à les rendre vulnérables à l'érosion particulièrement aux endroits où l'on s'adonne à la culture du maïs ou des pommes de terre. En Ontario, les comtés de Dufferin et de Simcoe sont des exemples typiques de ce genre de situation.

Un problème éventuel est aussi en train de naître dans les sols de l'est de l'Ontario et dans le sud du Québec, où les agriculteurs sont en train de passer rapidement de la rotation céréales-plantes fourragères au maïs. Les risques les plus graves existent lorsque la culture s'accompagne de la suppression des clôtures et des haies afin d'obtenir des parcelles plus grandes, ainsi qu'aux endroits où se pratique la monoculture. Plus à l'est, les précipitations plus fortes, la culture moins intensive et la sylviculture extensive atténuent quelque peu, pour le moment, les possibilités d'érosion éolienne grave; il ne faut quand même pas oublier qu'il existe de vastes zones de sols sableux et peu profonds au Québec, des deux côtés du Saint-Laurent au nord-est de Montréal, où l'érosion éolienne accompagnera toute opération de déboisement ou de mise en culture des terres.

Il existe encore un autre domaine susceptible d'érosion éolienne, il s'agit de celui des sols organiques intensément cultivés que l'on trouve un peu partout dans la région. Ces sols sont facilement soulevés par le vent parce qu'ils sont secs et il leur faut à la fois des brise-vent, une nappe phréatique bien surveillée et une culture en bandes afin d'empêcher les pertes de sol. Malheureusement, ces pratiques ne sont pas tellement répandues.

3.4 La région de l'Atlantique

Dans cette région, l'érosion éolienne est moins grave qu'ailleurs au Canada en raison des précipitations plus fortes, de l'emploi plus généralisé des cultures fourragères et de l'étendue des forêts. L'Ile-du-Prince-Edouard semble posséder le potentiel le plus élevé pour l'érosion éolienne en raison

de ses sols sableux, de la nature des vents forts et de la proportion élevée de l'étendue cultivée (cartes 4 et 5). On estime encore qu'il s'agit d'um problème mineur, mais aucune mesure n'a été effectuée pour déterminer la vitesse d'érosion.

4.0 LA PERTE DE STRUCTURE DU SOL ET LA BAISSE DE FERTILITE PAR SUITE DU TRAVAIL DU SOL

Le travail du sol entraîne généralement des modifications considérables dans la quantité et la qualité des matières organiques naturelles dans le sol. Dans les premières années suivant l'émottage d'un sol, celui-ci fournit les éléments nutritifs nécessaires à la production agricole pendant que l'existence de concentrations élevées et continues de la matière organique et de l'activité microbienne assure une structure de sol stable et bien agrégée. Cette structure maintient une haute vitesse d'infiltration des pluies et des eaux de fonte des neiges, une bonne capacité portante pour les machines aratoires et une bonne zone d'aération des racines. Au bout de quelques années, toutefois, la structure du sol commence à se détériorer. Cela se produit par suite du déclin de la teneur des matières organiques qui découle de l'oxydation et de la décomposition microbienne ainsi que de la pulvérisation et du compactage dû au travail du sol. Cette situation ne se révèle parfois qu'au bout de nombreuses années, suivant le type de sol, de climat et la quantité de matières organiques qui existait à l'origine.

On a constaté que des matières organiques et l'azote organique compris dans le sol respectaient un équilibre entre les apports et les pertes (16, 69). Ceux-ci sont déterminés par les facteurs suivants: le type de plante cultivée, le traitement des débris, le type et la fréquence du travail du sol, les pratiques de fertilisation et de fumage employées de même que le climat. Ainsi, pour chaque ensemble de rotation des cultures et de conditions agrologiques, il existe éventuellement une teneur caractéristique en matières organiques selon le type de sol et les conditions climatiques d'une station donnée. Toutefois, ce niveau d'équilibre des matières organiques est presque toujours inférieur à celui qui existait lorsque le sol était à l'état vierge.

Presque toute baisse dans la teneur en matières organiques des sols minéraux est importante surtout parce qu'il s'agit d'un facteur prépondérant dans la structure du sol, la perte de celle-ci rendant les sols plus vulnérables à l'érosion hydrique et éolienne ainsi qu'au compactage. En même temps, il s'agit d'une source essentielle en azote du sol et en oligo-éléments, la structure étant aussi le facteur qui favorise un meilleur échange cationique dans le sol et une meilleure capacité de rétention d'eau. Il s'agit donc d'un facteur d'une importance considérable dans tout processus de production agricole.

On ne sait pas toujours très bien ce qui arrive à la totalité de l'azote libéré au moment de la minéralisation de la matière organique (humus). Le lessivage et la dénitrification sont deux mécanismes de pertes à partir du système sol-plante, tandis que la fixation symbiotique et non symbiotique est une source d'addition d'azote. Certaines études ont révélé que l'azote organique diminue plus rapidement après le travail du sol que le carbone organique (34, 67), tandis que d'autres chercheurs pensent le contraire (18). Il est tout probable que les taux de perte sont en réalité très voisins.

Le compactage du sol et la détérioration de sa structure donnent souvent lieu à des conditions dans lesquelles l'infiltration d'eau ou la profondeur des racines sont limitées par la forte densité du sol et sa piètre macroporosité[1]. Cette situation découle parfois de la perturbation mécanique due au travail du sol même s'il n'y a pas toujours de baisse dans la teneur en matières organiques comme c'est le cas des sols trempés lorsqu'ils sont labourés, ou des sols qui subissent la vitesse ou le poids excessifs du matériel agricole. Toutefois, de telles conditions peuvent aussi exister à l'état naturel dans certains sols et elles ne résultent pas nécessairement de la dégradation des sols.

La carte n° 6 montre les régions du Canada les plus vulnérables à la perte et au compactage des matières organiques dans le sol par suite des pratiques culturales. La carte a été préparée afin de refléter la proportion de terres améliorées qui est cultivée, jachérée ou cultivée en ligne, le déficit annuel moyen de l'humidité du sol et la classe texturale dominante. Le déficit en humidité du sol fournit une indication de la vitesse d'oxydation des matières organiques et le degré de probabilité du travail du sol dans des conditions humides.

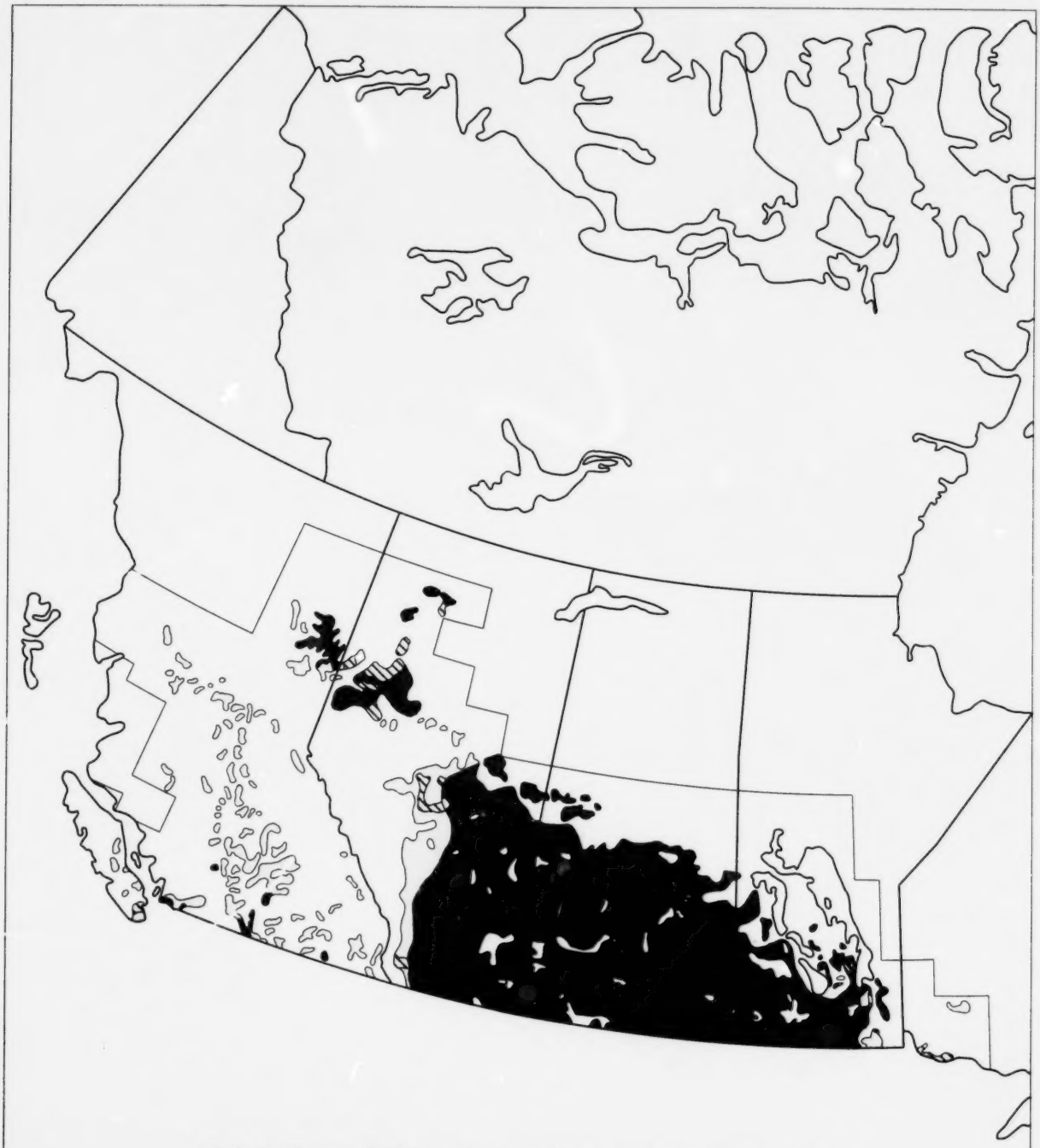
4.1 La région cordilléranne

Les pluies relativement fortes, le niveau élevé de la nappe phréatique et la pratique intensive de la culture en lignes dans la vallée du Bas-Fraser ont conduit à certains problèmes de compactage et de semelles de labour dans les sols à texture moyenne et à texture fine. Les gros et puissants cultivateurs rotatifs qui sont très répandus dans cette région produisent un lit de semences très fin, mais ils peuvent endommager considérablement la structure du sol. Les engrais sont très répandus si bien qu'aucun effort n'est fait pour protéger les matières organiques du sol pour des raisons d'alimentation en matière nutritive.

---

[1] La Commission de coordination en pédologie pour l'Ouest canadien (Western Canada Soil Coordinating Committee) a publié un document intitulé Quality Criteria for Agriculture (127) dans lequel elle indique que la limite supérieure de la densité apparente dans l'horizon Ap devrait être de 1,6 g/cm^3.

Carte 6 Risques relatifs de perte de matières organiques du sol et compactage estimé à partir de la répartition des cultures en 1976.



Carte 6: Risque relatif de perte de matières organiques des sols et de compactage estimé pour la répartition des cultures de 1976.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Perte de matières organiques

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

Compactage

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

Texture du sol (1) superficiel	Terres cultivées (% des terres améliorées)(2)	Pour la perte de matières organiques — Jachères estivales (J.e.) et/ou cultures en rangées (C.R.) (3)			Pour le compactage — Cultures en rangées		
		J.e.<30% et C.R.<10%	J.e. 30-40% ou C.R. 10-25% J.e. ≤40% et C.R. ≤25%(4)	J.e.>40% ou C.R.>25%	<10%	10-25%	>25%
		Classe d'humidité des sols(5)			Classe d'humidité des sols(5)		
		L-H / G / F-C	L-H / G / F-C	L-H / G / F-C	C-G / H / K-L	C-G / H / K-L	C-G / H / K-L
Argileux	<30						
	30-75						
	>75						
Loameux	<30						
	30-75						
	>75						
Sableux	<30						
	30-75						
	>75						

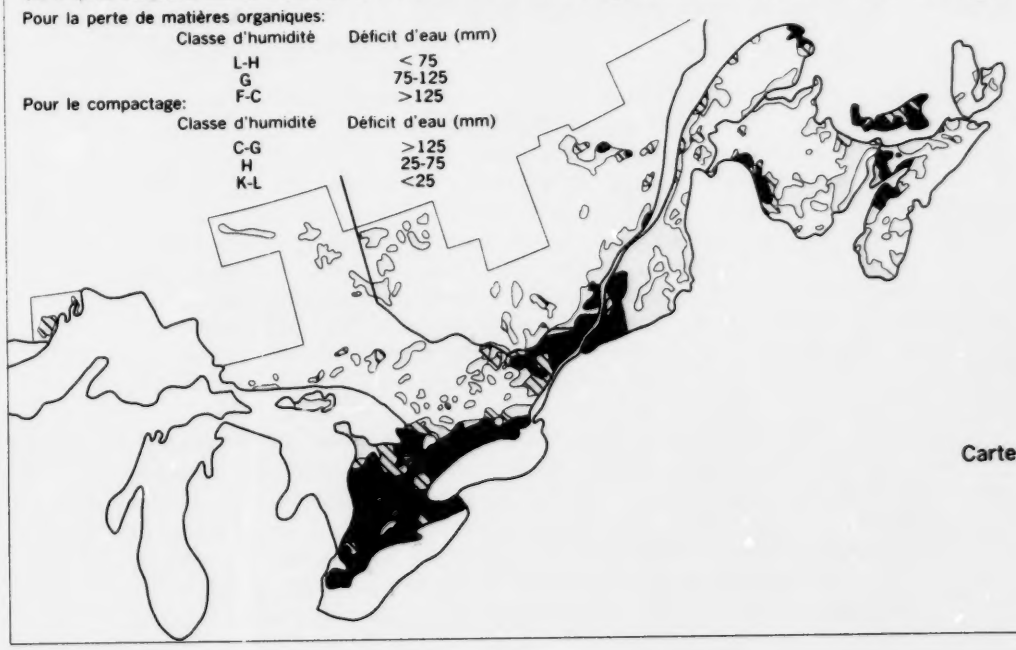
(1) D'après des données publiées et non publiées sur les sols.
(2) Terres cultivées = terres en culture - prairies artificielles + jachères estivales, Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976.
(3) Jachère estivale est définie dans Statistique Canada, Recensement de l'agriculture 1976 et exprimée en pourcentage des terres cultivées. *Voir* la définition des cultures en rangées dans les notes de la carte 3.
(4) Pour les jachères estivales <30 et les cultures en rangées >10, on utilise "Cultures en rangées".
(5) D'après Chapman, L.J. et Brown, D.M., *The Climates of Canada for Agriculture*, I.T.C., rapport n° 3, Ottawa.

Pour la perte de matières organiques:

Classe d'humidité	Déficit d'eau (mm)
L-H	<75
G	75-125
F-C	>125

Pour le compactage:

Classe d'humidité	Déficit d'eau (mm)
C-G	>125
H	25-75
K-L	<25



Carte 6

Dans les vallées intérieures, comme celle de l'Okanagan, le climat semi-aride a produit des sols chernozémiques dont les matières organiques naturelles sont modérément élevées et dont la structure est relativement forte. De manière générale, on ne rencontre pas de problème lorsque ces sols sont employés pour l'agriculture intensive. Certains autres sols, comme les brunisols, sont pauvres en matières organiques et leur surface est faiblement structurée. De tels sols se trouvent généralement sous des forêts de conifères et ils sont très fréquents dans un grand nombre de vallées ainsi qu'au pied de certaines pentes (120). L'irrigation est souvent nécessaire lorsque ces sols secs sont déboisés puis cultivés. Certaines observations permettent de croire qu'un travail du sol approprié, combiné à des travaux d'irrigation et d'incorporation des déchets de moisson a fini par améliorer certains des sols les plus pauvres. Même s'il ne résulte pas directement des pratiques culturales, un certain compactage du sol a été observé dans les vergers irrigués de la vallée de l'Okanagan. Le passage répété des véhicules, y compris pour le fauchage de l'herbe, a compacté certains sols limoneux de telle sorte qu'aujourd'hui l'eau d'irrigation ne s'infiltre plus à une vitesse suffisante. Dans ce cas, le travail du sol semble atténuer le problème.

4.2 La région des grandes plaines

Dans les prairies, la quantité de matières organiques dans les sols indigènes a tendance à être élevée. Les chernozems noirs possèdent une proportion de matières organiques qui peut atteindre 15%, mais qui se situe le plus souvent entre 5 et 10%, tandis que dans les sols brun foncé et les sols bruns, ce niveau doit se situer entre 3 et 7%. Ces matières organiques minéralisent le sol après qu'il a été cultivé et libère de l'azote et d'autres éléments nutritifs susceptibles de favoriser la croissance des plantes.

La vitesse de minéralisation varie suivant les types de sols, les pratiques culturales et la durée d'exploitation. Certaines recherches menées pendant un bon nombre d'années ont montré que la perte de carbone et d'azote organique est plus rapide dans les 5 ou 6 premières années après le travail du sol, tandis que d'autres études n'ont trouvé que peu de changements dans les vitesses de perte avec les années (19, 34, 77). Certains travaux ont montré que la monoculture entraîne une perte de matières organiques moins rapide que pour la rotation jachérée, tandis que d'autres résultats indiquent peu de différence entre les deux méthodes (19, 90, 92).

La perte de matières organiques présentes dans le sol inspire certaines craintes dans cette région en raison des bilans d'éléments nutritifs de même qu'à cause du maintien de la structure du sol. Les précipitations sont faibles dans la partie du sud et la percolation des nitrates ne semble pas excessive, même si on peut constater son existence particulièrement au printemps après la fonte des neiges

(19, 90). la dénitrification contribue aussi à un certain taux de perte d'azote minéralisé. A mesure que la quantité de matières organiques diminue soit par suite de rotation jachérée ou de la monoculture, il faut faire de plus en plus appel aux engrais pour maintenir le rendement des récoltes. Tant et aussi longtemps que la quantité de matières organiques ne diminue pas au point où la structure du sol commence à se détériorer, la minéralisation des matières organiques constitue un moyen d'obtenir de l'azote à peu de frais.

Dans la partie centre-nord de la région, où les précipitations sont plus fortes, la monoculture des petites céréales et des graines oléagineuses faisant appel aux engrais maintient une plus forte proportion de matières organiques que la rotation jachérée. La pratique d'un assolement incorporant une légumineuse fourragère ou la pratique du fumage peuvent contribuer à réduire ou même à empêcher la perte nette de matières organiques dans un sol cultivé (77, 92). La non-culture peut améliorer la situation en réduisant la perturbation du sol et en y retenant plus de neige pendant l'hiver, assurant ainsi une meilleure récolte pourvu que les conditions soient assez sèches. Comme autre moyen d'améliorer le sol, on a suggéré d'employer une graine de légumineuse (comme la lentille) en rotation avec le blé et le colza, aux endroits où les conditions climatiques le permettent (82).

On a constaté que les cultures à larges interlignes comme celles du maïs entraînaient des pertes de matières organiques plus élevées que les céréales cultivées en lignes plus rapprochées, ce qui s'explique par la culture entre les lignes (92). Au cours des 25 dernières années, on a constaté que cette région connaissait une tendance lente mais généralisée vers l'emploi accru des cultures en lignes comme le maïs d'ensilage (24, 25).

Le surpâturage, le brûlage et l'érosion de même que le travail du sol sont tous des facteurs qui contribuent à la perte des matières organiques du sol. On a démontré que le surpâturage des champs de fétuque donnait un micro-climat du sol plus sec; ainsi un sol noir surpâturé peut prendre la couleur, le pH, l'humidité, la température et la teneur en matières organiques d'un sol brun foncé (55). Il peut aussi faire augmenter l'érosion du sol. Toutefois, la situation n'est pas générale puisque d'autres études ont révélé des augmentations des matières organiques du sol malgré le pâturage intense d'autres herbes de prairie (103). Le brûlage de la paille et des chaumes est encore pratiqué dans certaines parties des Prairies, particulièrement au Manitoba. La lutte contre les mauvaises herbes a été l'une des justifications du brûlage des chaumes. On ignore pendant combien de temps cette pratique peut se poursuivre avant que des problèmes de structure ne prennent naissance.

La perte de matières organiques résulte aussi de la culture intensive pratiquée dans certains sols irrigués. Toutefois, l'incorporation au sol des débris de moisson comme les épis de maïs débarrassés des grains et les verts de betterave, ainsi que l'emploi du fumier lorsqu'on en trouve, peuvent arrêter et même enrayer ce déclin (37).

Les problèmes de compactage du sol ne sont pas très graves dans les provinces des Prairies. Les pluies faibles sur la région, les conditions de gel-dégel intenses en hiver et la quantité relativement élevée de matières organiques compris dans le sol contribuent tous à réduire les risques de compactage, même aux endroits où un matériel aratoire lourd est employé. Les pédologues se demandent cependant si le compactage pourrait finir par prendre naissance dans les sols argileux de la région.

Dans une étude qui a duré cinq ans, on s'est intéressé au travail excessif du sol (jusqu'à 12 opérations culturales par année) pratiqué sur des sols chernozémiques noirs et loameux, en Alberta mis en jachère et renfermant 12% de matières organiques; finalement, on n'a constaté aucun effet significatif sur la densité apparente allant de 12 à 20 cm (33). La teneur en humidité du sol jusqu'à 90 cm de profondeur est également restée intacte. Les agrégats secs 0,84 mm (la fraction "érodable par le vent") n'ont pas été affectés par le travail du sol sauf pour ce qui est d'un effet saisonnier et imprévisible, et pour la constatation que le travail du sol avait tendance à faire augmenter la taille des agrégats. Dans une étude menée au Manitoba où diverses quantités de matières organiques ont été ajoutées à un sol noir sablo-limoneux, aucun effet n'a été constaté sur la densité apparente ou sur les agrégats secs (42).

4.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

Les pédologues et les agronomes des zones d'agriculture intensive du sud de l'Ontario et du sud du Québec s'intéressent au déclin de la structure du sol qui fait suite au travail répété du sol, mais ces effets ne sont pas encore tellement bien connus dans la région. Celle-ci continue de connaître des modifications marquées dans ses pratiques culturales puisque les monocultures du maïs, du soya et d'autres cultures à larges interlignes deviennent de plus en plus populaires, et ce, aux dépens de la rotation des cultures. Dans le sud-ouest de l'Ontario, on estime que la moitié de la superficie totale cultivée est aujourd'hui consacrée à la monoculture en lignes (59).

Dans cette région, les lignes de clôtures sont enlevées pour faciliter l'emploi de matériel agricole lourd. Ceci contribue à accroître la dimension des parcelles et la longueur des pentes, le tout entraînant une érosion éolienne et hydrique accrue. L'emploi de matériel plus puissant a souvent donné lieu à un travail du sol plus fréquent et plus profond que nécessaire et à

des moments où le sol n'est pas suffisamment sec. En même temps que le déclin des rotations, ces tendances ont entraîné la détérioration de l'état d'ameublissement, du drainage interne et d'autres propriétés physiques. Même si cette détérioration a été constatée à plusieurs reprises jusqu'ici, on a encore peu publié sur la question. Dans certains cas, le rendement aussi a été réduit, bien que l'emploi de grandes quantités d'engrais semblent avoir maintenu la productivité dans la plupart des exploitations agricoles (59). Les agriculteurs ont signalé que les drains souterrains enfouis dans des loams argileux ne laissent pratiquement plus l'eau s'écouler au bout d'un certain nombre d'années de monoculture du maïs, mais l'écoulement s'y rétablit au bout de quelques années seulement de culture de la luzerne.

Le tableau 5 montre quelques-unes des rares données accessibles sur la proportion de matières organiques dans le sol et sur le type d'agriculture dans cette région. Il est évident que plus fréquentes sont les cultures, plus la quantité de matières organiques diminue. D'autres données montrent que cette quantité peut s'équilibrer à des valeurs sensiblement supérieures pourvu qu'on ajoute du fumier ou des matières organiques (109, 124). Parallèlement à la perte de matières organiques, on a assisté à une réduction de l'agrégation du sol comme l'ont démontré certaines analyses dimensionnelles et résistancielles des agrégats stables à l'eau. On a observé une réduction de 40 à 60% des indices d'agrégation stable à l'eau dans des sols en monoculture du maïs comparativement à une rotation sur quatre ans maïs-avoine-foin-foin sur différents sols du sud de l'Ontario (58). Cinquante années de friche continue sur l'un de ces sols ont laissé une agrégation stable à l'eau supérieure de 60% aux sols soumis à la rotation (13). Dans le sud du Québec, trois sols cultivés ont servi à une rotation céréales-fourrage et leurs indices d'agrégation stable à l'eau ont varié de un demi à un cinquième de la valeur observée dans les mêmes sols à l'état non remanié (67). Les agrégats stables à l'eau et les agrégats secs ont augmenté considérablement avec le temps sur une période de 25 ans de friche continue tant dans les loams argileux que dans les loams sableux du Québec, tandis que l'agrégation stable à l'eau des loams argileux a diminué d'un degré par suite de la monoculture du maïs comparativement à une rotation de 5 ans (68).

Dans cette région, les problèmes de compactage viennent surtout du travail répété du sol et du travail à l'état humide. Ces problèmes sont plus fréquemment observés dans les sols lourds, bien que des augmentations plus grandes aient été observées pour la densité apparente de certains sols sableux lorsque ceux-ci avaient été soumis au passage fréquent des machines aratoires (88). Même si la diminution des matières organiques dans le sol contribue au problème, le mauvais drainage du sol reste un autre facteur qui fait augmenter les risques que le travail du sol et les récoltes doivent être faites sur des sols trempés, ce qui aggrave généralement le compactage mécanique.

Plus de 90% des travaux de drainage souterrain pratiqués au Canada ont été effectués en Ontario. Néanmoins, environ deux fois la surface actuellement drainée de cette province nécessite encore un drainage amélioré (22). Au Québec, la cadence d'aménagement du drainage souterrain a augmenté considérablement au cours des dernières années, parallèlement à la production accrue des cultures marchandes et du maïs d'ensilage.

Tableau 5 La proportion de matières organiques dans les sols superficiels de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent sous l'effet des pratiques culturales.

Type de sol (série)	% de matière organique (nombre d'années)				Référence
	Intact	Prairie permanente	Rotation	Monoculture de maïs	
Loam argileux (Brookston)	-	8,1 (50)	4,9 (5)[1]	3,7 (5)[4]	13
Argile (Haldimand)	7,6	4,5 (8)	4,9 (8)[2]	4,0 (8)	124
Loam (Guelph)	6,5	4,4 (10)	4,1 (10)[2]	3,1 (10)	125
Loam argileux (Kamouraska)	11,4	6,5 (25)	6,3 (30)[3]	-	67
Loam argileux (Ste-Rosalie)	-	-	6,3 (>10)[3]	4,1 (8)	68
Loam sableux (Charlevoix)	7,3	-	6,3 (30)[3]	-	67

[1] maïs, maïs, avoine, foin, foin

[2] maïs, avoine, foin, foin

[3] céréale, foin, foin, foin, foin

[4] A la suite de 30 années de culture d'autres plantes

On n'a jamais pu confirmer vraiment de façon expérimentale certaines observations voulant que les tracteurs et les machines les plus lourdes causent le compactage du sol. Des études menées entre 1952 et 1955 sur de l'argile de Brookston (sud-ouest de l'Ontario), ont révélé que la fréquence des passages avait tendance à réduire la porosité à des profondeurs de 5 à 15 cm, mais que cette légère tendance n'était pas significative; quant aux effets sur le rendement, on a constaté qu'ils étaient encore plus négligeables (14). D'un autre côté, de récents travaux indiquent que la monoculture du maïs dans le sud-ouest de l'Ontario a des effets nocifs tant sur la porosité totale que sur la porosité en air, ce qui donne lieu au compactage (15). On a constaté que le résultat de ce compactage réduisait l'absorption des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin, particulièrement de l'azote et du potassium, ce qui entraîne du même coup des rendements réduits. On s'est en outre aperçu que l'emploi de l'engrais permettait de compenser les carences en azote, mais non les carences en potassium. L'étude a démontré l'utilité de s'intéresser à la viabilité lointaine de la monoculture du maïs sur les sols fins de l'Ontario et elle a démontré la valeur des légumineuses fourragères dans une rotation avec le maïs lorsqu'il s'agit d'améliorer les conditions physiques du sol et de rendre plus efficace l'utilisation de l'engrais.

Des études sur le compactage dû à la fréquence de passage sur un sol argileux du sud du Québec ont révélé une augmentation de la densité apparente par suite des passages successifs d'un tracteur plus petit que celui qui avait été employé au cours d'une étude antérieure menée en Ontario (87). Les effets les plus marqués ont été observés au cours des 5 permiers passages, l'augmentation de la densité apparente atteignant 0,25 g/cm^3. Des résultats analogues ont été obtenus dans un verger sur loam sableux. La densité apparente dans une parcelle d'un verger qui existe sur ce sol depuis 34 à 40 ans était à peu près la même que celle qui a été observée au bout des 15 passages de tracteur. On a conclu qu'au bout d'un certain nombre d'années, les racines, le gel-dégel, l'humectation et la dessiccation, etc. devaient avoir ralenti l'effet des passages répétés de véhicules puisque bien plus de 15 passages de tracteurs ont dû se produire pendant toute la vie du verger.

Le travail excessif du sol à une profondeur constante favorise la formation "d'horizons durcis" (ou semelles de labour) qui gênent la pénétration des racines et l'alimentation en humidité et en éléments nutritifs. Certaines études québécoises ont confirmé que l'effet maximal du poids du tracteur se fait sentir à des profondeurs de 12 à 26 cm (88). Malgré l'intensité de la mise en culture de ces sols des Grands Lacs et du Saint-Laurent, on ne signale jusqu'ici que peu d'exemples de semelles de labour dans les publications. Toutefois, certaines données inédites extraites d'une étude actuellement menée par l'auteur principal du présent article confirment l'existence du problème dans l'est de l'Ontario.

Le degré général de compactage du sol et de dégradation structurale que connaissent actuellement les sols de l'Ontario et du Québec par suite de la monoculture et du travail de leurs sols agricoles est encore loin d'être déterminé. Toutefois, certains observateurs ont estimé qu'il s'agissait là du plus grave problème de dégradation des sols que connaissait cette région.

4.4 La région de l'Atlantique

La région de l'Atlantique connaît des tendances culturales et agricoles analogues à celles de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent, puisque les principales cultures en lignes y sont le maïs et la pomme de terre. De nombreux sols possèdent un sous-sol compacté naturellement et une structure superficielle faible; en outre le surplus d'humidité y est un problème courant qui conduit souvent au travail du sol à l'état humide. Dans les zones où l'on cultive la pomme de terre, l'érosion des sols a déjà enlevé une couche considérable de sols superficiels (111, 112) et la quantité de matières organiques compris dans le matériau restant est souvent maigre. Dans des sols semblables de l'État du Maine, certaines études ont révélé que même si la monoculture de la pomme de terre ne faisait pas diminuer de façon significative la quantité de matières organiques comparativement à l'alternance des cultures, l'agrégation stable à l'eau avait diminué tandis que les pertes de sols et l'écoulement s'étaient accrus (99).

Une érosion intense combinée à l'épierrage ont amené le sous-sol à proximité de la surface par endroits si bien que le compactage normal a été plus dommageable pour la production agricole qu'il ne l'est habituellement dans les terres récemment défrichées. Les dangers de la culture intensive de la pomme de terre s'aggravent souvent par suite des effets du poids et des vibrations du matériel agricole. En outre, ce matériel est souvent employé lorsque les sols sont plus humides que voulus afin d'obtenir une résistance maximale au compactage. Certains sols du Nouveau-Brunswick ont présenté une hausse de plus de 17% de leur densité apparente en un an de culture et de récolte de la pomme de terre (100). Douze passages de tracteurs dans des conditions expérimentales ont produit à peu près la même élévation de la densité apparente, tandis que le rendement des récoltes diminuait de 21%. Des problèmes analogues ont été observés pour la production du maïs et la gélivation n'a pas semblé atténuer les problèmes de compactage de façon appréciable dans ces sols (98). Certaines données publiées ont révélé une hausse constante de la densité apparente du sol suivant le nombre d'années de culture de la pomme de terre (99). Toutefois, comme ce concept de compactage cumulatif n'est pas partout aussi bien accepté au Canada, il mériterait qu'on pousse plus loin les recherches.

Les sols de l'Ile-du-Prince-Edouard sont relativement pauvres en matières organiques, la plupart des sols se trouvant dans l'intervalle de 2 à 4% (96). Ces proportions avoisinent le seuil critique de matières organiques au-dessous duquel la stabilité des agrégats du sol diminue rapidement (123), ce qui indique qu'une détérioration relativement faible dans la matière organique causée par une culture intensive pourrait affecter gravement la structure du sol. Suivant les données du service provincial de prospection agrochimique pour les 5 dernières années, de telles diminutions existent (112, 123).

Même si les données sont rares, il est évident que la production accrue de maïs dans la région de l'Atlantique, combinée à la monoculture de la pomme de terre dans des sols qui servent depuis longtemps à cette fin, permet d'envisager une dégradation poussée des sols. La région reçoit des pluies annuelles abondantes, qui tombent généralement en automne lorsque les sols sont dénudés et sans protection, c'est pourquoi les classes d'humidité du sol y sont les plus élevées du pays. L'érosion observable y est souvent importante bien que l'on ne connaisse pas encore tellement bien les répercussions possibles des pratiques actuelles de travail du sol et de récolte.

5.0 LA SALINISATION DES SOLS

La salinisation des sols résulte d'une hausse ou d'une redistribution des sels dans le sol par suite de l'évaporation de l'eau et de la précipitation du sel dans le sol ou à la surface. La solonisation est parfois liée à la salinisation et elle se produit par l'augmentation des sels sodiques. Ce phénomène fait augmenter le sodium échangeable dans le sol et le pH du sol. La proportion des sels est généralement voisine de celle des eaux souterraines locales. Lorsque la conductivité des extraits de saturation tirés de l'horizon de surface est supérieure à 4 mmhos/cm, seules les mauvaises herbes indigènes peuvent survivre[1]. Lorsque le sodium forme plus de 15% des bases échangeables de n'importe lequel de ces sols salins, ceux-ci prennent le nom de sols salins à sodiques ou salins à alcalis; en outre, ils se trouvent parfois dans un très mauvais état physique, suivant la quantité de sodium qu'on y trouve (46)[2].

---

[1] La Commission de coordination pédologique pour l'Ouest canadien a publié un document intitulé "Soil Quality Criteria for Agriculture" (127) dans lequel elle indique les limites à la croissance des plantes lorsque la conductivité de la pâte de sol saturé dépasse 2 mmhos/cm et des limites critiques à 12 mmhos/cm.

[2] Les vastes zones de solonetz que l'on trouve dans l'ouest des Prairies ne sont pas considérées comme un problème de dégradation des sols dans le contexte de la présente évaluation.

Le niveau accru de salinité réduit la germination et la croissance de la plupart des plantes en entravant les mécanismes de transport de l'eau et des éléments nutritifs à travers l'interface sol-racine. Les sels sont habituellement des sulfates, des chlorures, des carbonates et des bicarbonates de calcium, de sodium et de magnésium. Une forte proportion de sodium provoque aussi la formation d'horizons denses de sous-surface, ce qui réduit le coefficient de Darcy. Les pH élevés gênent l'absorption des éléments nutritifs et réduisent la croissance des plantes. Bien que le domaine de tolérance de la salinité soit assez vaste parmi les variétés d'une même plante, la tolérance a généralement tendance à être plus grande pour les plantes fourragères et à diminuer progressivement pour les céréales et les oléagineux, les légumes étant les plus vulnérables.

La salinisation de sols est causée par le transport du sel dans certaines solutions du sol, à l'occasion de l'évaporation et des précipitations dans le sol ou à sa surface. L'équilibre du mouvement de l'eau entre le sol et les eaux souterraines peu profondes peut être modifié par le travail du sol et l'enlèvement des plantes indigènes vivaces capables de transpirer davantage que nombre de plantes agricoles. La situation est encore plus grave lorsque le sol est jachéré en été, soit lorsque aucune plante n'est cultivée. Comme résultat net, on assiste à la migration vers le bas de la pente de l'eau de percolation sur du till à perméabilité lente ou sur le substrat rocheux, le tout avec augmentation de la teneur en sel à partir de la salinité normale du sous-sol. Lorsque cette humidité pénètre dans une zone de flux d'eau, le plus souvent au pied d'une pente, dans une dépression ou dans une rupture de pente ou encore à l'occasion d'un changement du type de sol, l'évaporation et l'action capillaire provoquent le dépôt des sels à la surface du sol et dans le profil, puis des conditions d'infiltration saline s'installent peu à peu (7, 46, 106, 121).

La salinité en milieu irrigué se produit le plus souvent par suite de l'élévation de la nappe phréatique au voisinage de canaux à cause d'une fuite, ou par suite de l'infiltration et d'un arrosage excessif. A mesure que les eaux d'irrigation élèvent le niveau de la nappe phréatique, ou qu'elles se déplacent dans le sous-sol, elles amènent les sels dissous plus près de la surface. Lorsque ces eaux s'évaporent, la quantité de sel qui reste dans l'eau du sol augmente au point d'endommager les récoltes et de favoriser l'apparition de mauvaises herbes tolérantes aux sels. toute évaporation plus intense entraîne la destruction du reste des plantes et provoque finalement la formation de croûtes de sel.

La carte n° 7 offre une vue d'ensemble de la situation en matière de salinisation des sols dans l'Ouest canadien. La salinisation des sols est essentiellement un problème qui concerne la région des grandes plaines. La solonisation n'a pas fait l'objet de considérations particulières puisqu'il s'agit d'un phénomène rare et difficile à reconnaître ou à anticiper. La carte décrit six types de terres:

i) Les zones de sols salins antérieures à toute colonisation agricole.

ii) Les sols solonetziques (à l'exclusion des solods) dans lesquels la forte salinité hypodermique, de teneur élevée en sodium, est une caractéristique permanente nécessitant l'application de techniques agrologiques particulières.

iii) Les zones dans lesquelles la salinisation des sols est active et où il existe des risques élevés de salinisation plus poussée des terres agricoles.

iv) Les zones dans lesquelles la salinité du sol existe, mais où les risques de salinisation plus poussée des terres agricoles sont seulement modérés.

v) Les terres dans lesquelles la salinisation est peu probable et où elle ne se produit que rarement. Ce type de terres comprend les zones dans lesquelles les précipitations et le lessivage sont suffisants pour maintenir les sels sous la zone des racines ainsi empêchent généralement la salinisation des terres agricoles.

vi) Les terres irriguées, puisqu'on suppose qu'elles possèdent un potentiel variable pour une salinisation locale des sols suivant surtout les techniques d'hydro-amélioration appliquées.

La classification des terres entre les catégories qui précèdent s'est appuyée sur certaines cartes publiées et inédites qui ont été interprétées à la lumière de l'expérience de certains pédologues[1].

5.1 La région cordilléranne

Même s'il arrive de rencontrer de petites zones dispersées de sols salins dans certaines dépressions du plateau inférieur sec de cette région, les auteurs n'ont remarqué aucun problème de salinisation ou de solonisation générale. La salinité n'est

[1] Les auteurs tiennent à remercier pour son aide précieuse le professeur A.K. Ballantyne de l'Institut de pédologie de la Saskatchewan, pour l'identification des facteurs de vulnérabilité des sols à la salinisation.

pas fréquente dans les zones irriguées, mais l'irrigation est pratiquée dans un grand nombre de petits secteurs disséminés sur des sols glacio-lacustres ainsi que sur certains sols de terrasse fluviale; en outre, on rencontre parfois des infiltrations salines dans les stations de bas de pente où ils prennent naissance. Toutefois, dans la plupart des cas, les terres en cause ne sont pas cultivables et l'étendue du problème est négligeable.

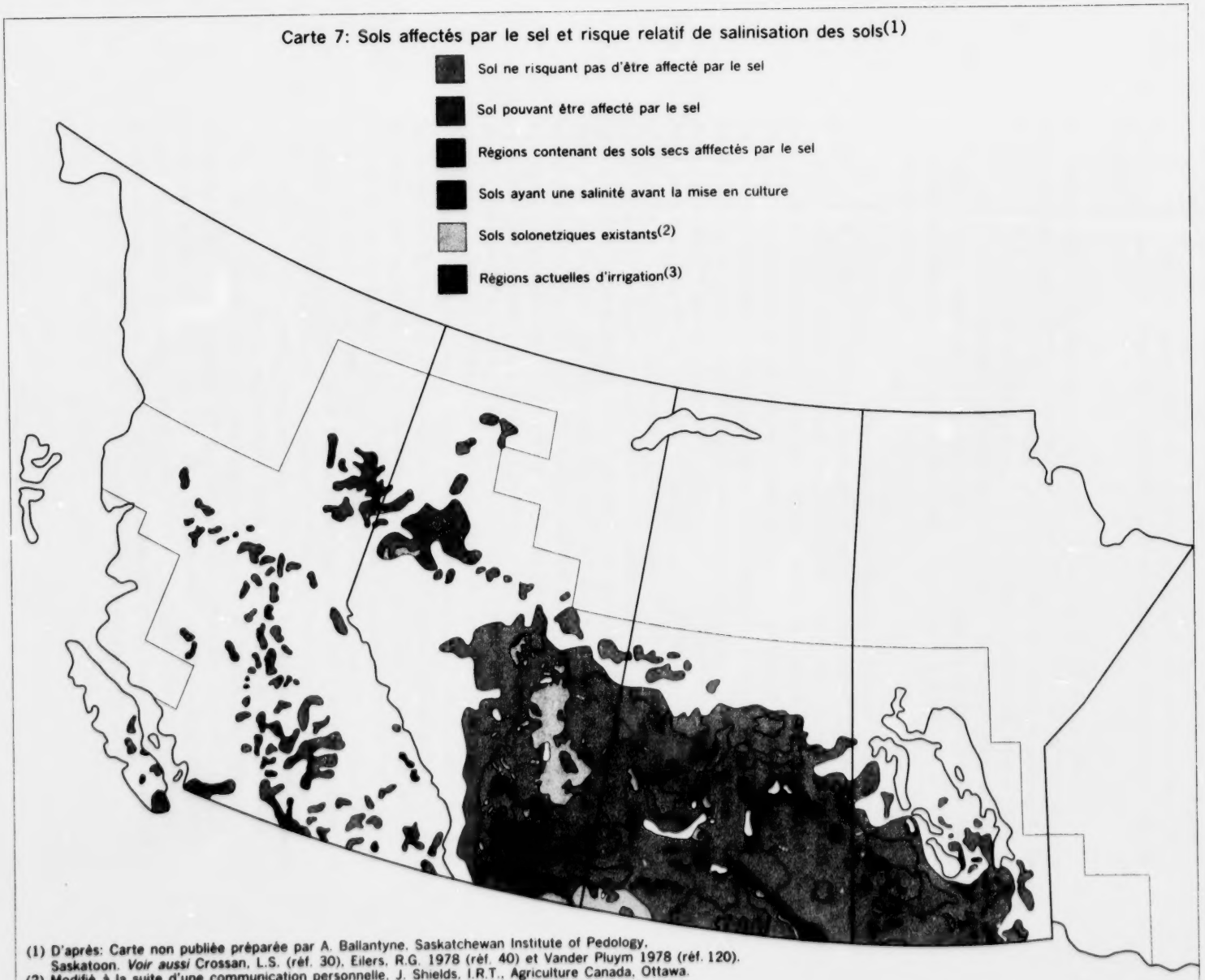
Dans le delta de la vallée du Fraser, il existe certains exemples de dégâts causés aux polders par les sels marins. Il semble que cette situation soit le résultat de l'installation de drains défectueux ou de la présence de lentilles sableuses dans le sous-sol, ce qui permet l'envahissement par les eaux salées, mais ces problèmes sont mineurs. Les sels en suspension dans l'atmosphère provenant de l'océan sont parfois menaçants pour les terres cultivées qui bordent la mer, mais on ne considère pas encore qu'il s'agit là d'un problème pour la région.

5.2 La région des grandes plaines

Le problème de la salinisation des sols dans les grandes plaines du Canada a été décrit comme grandissant et de proportions considérables (121). On estime que les effets de 80 années d'appauvrissement des plants indigènes et d'exploitation agricole commencent à se manifester sur une étendue de plus en plus vaste. Les premières preuves scientifiques qui ont trait à la progression de l'infiltration saline au Canada ne datent apparemment que de 1962 (65). On considère généralement que le problème pourrait s'aggraver à l'occasion des années humides à venir, même si des mesures sont prises pour rétablir la végétation de certains secteurs situés dans les zones d'alimentation des hautes-terres de manière à accroître l'évapo-transpiration et à faire diminuer la percolation de la pluie et des eaux de fonte (106). Toutefois, pour une année donnée, la salinisation semble parfois augmenter en certaines stations et diminuer ou demeurer stable en d'autres stations. Cette variabilité résulte de différences locales du climat, du niveau de la nappe phréatique et des pratiques culturales (9).

La salinité des terres sèches semblent avoir triplé sur une période de dix ans dans les terres cultivées et doublé dans les pâturages de certaines parties de l'Alberta (121), tandis qu'elle quadruplait en Saskatchewan sur une période de 15 ans (90). Il n'existe pas d'estimation comparable pour le Manitoba, mais on trouve des zones où l'infiltration pourrait se propager au pied de l'escarpement et dans le bassin de la rivière Souris au pied du mont Turtle (39, 75). Le problème semble s'aggraver partiellement en raison de la pratique généralisée de la jachère d'été même les années où elle n'est pas nécessaire pour les besoins du sol en humidité. Comme la pratique a été largement adoptée dans les années 30 lorsque les précipitations annuelles

Carte 7: Sols affectés par le sel et risque relatif de salinisation des sols(1)



(1) D'après: Carte non publiée préparée par A. Ballantyne, Saskatchewan Institute of Pedology, Saskatoon. *Voir aussi* Crossan, L.S. (réf. 30), Eilers, R.G. 1978 (réf. 40) et Vander Pluym 1978 (réf. 120).

(2) Modifié à la suite d'une communication personnelle, J. Shields, I.R.T., Agriculture Canada, Ottawa.

(3) Modifié d'après: Thiessen, J.W. et Smith, R.F. *Modernizing Irrigation Systems in Alberta, Canada*, 1981, préparé pour le 11e Congrès sur l'irrigation et le drainage, Grenoble, France, 1981. Et d'après: Influence de l'homme, Pêches et Environnement Canada, Atlas hydrologique du Canada, 1978. Et d'après une communication personnelle de A.B. Dawson, ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

sur presque toutes les Prairies se sont situées sous la moyenne, elle a été pratiquée, parfois comme moyen de lutte contre les mauvaises herbes, même avec l'amélioration des conditions d'humidité. La percolation de l'excédent d'eau qui accélère la salinisation provoque aussi le lessivage de l'azote minéralisé à partir des champs jachérés; en outre, lorsqu'ils sont combinés, ces processus mettent en évidence l'inutilité à long terme de la jachère d'été.

Les modifications apportées par l'homme à l'écoulement naturel de l'eau peuvent aussi donner naissance à l'infiltration saline. Les routes et chemins de fer, les villages disposant de fosses septiques pour l'élimination de leurs ordures ainsi que les brise-vent derrière lesquels la neige s'accumule entraînent souvent une élévation localisée du niveau de la nappe phréatique au pied des pentes, ce qui crée des conditions propices à l'infiltration.

Il est difficile d'empêcher la naissance de conditions propices à l'infiltration saline ou encore de chercher à les enrayer lorsqu'elles se sont installées. La zone d'alimentation des eaux d'infiltration a toutes les chances de se trouver dans une autre propriété et généralement à une distance considérable de l'infiltration. Dans la zone d'alimentation, il est parfois nécessaire de pratiquer la monoculture, de semer des plantes fourragères et de drainer les zones où s'accumulent les eaux de ruissellement. Mais de telles pratiques peuvent se révéler onéreuses ou tout simplement impraticables pour certains propriétaires, particulièrement aux endroits où une topographie irrégulière caractérise la plus grande partie de la région. La lutte à la source de l'infiltration ou à proximité de celle-ci consiste à faire baisser la nappe phréatique en ensemençant des plantes fourragères tolérantes à la salinité et possédant des racines profondes, comme la luzerne, pourvu que la salinité ne soit pas trop intense. De telles plantes peuvent aussi être employées pour intercepter l'infiltration en étant mises en terre selon les courbes de niveau immédiatement au-dessus de la zone d'infiltration (20, 46). La monoculture des plantes tolérantes à la salinité comme l'orge peut aussi se révéler utile dans la zone d'infiltration. Le drainage souterrain pratiqué soit au moyen de drains souterrains ou de drains à taupinière peut faciliter l'élimination de l'eau et contribuer à faire baisser la nappe phréatique (20, 108). Toutefois, l'aménagement d'exutoires appropriés à de tels modes de drainage représente des frais considérables qui rendent sa réalisation difficile. Dans une région observée de l'Alberta dépourvue d'exutoire, on a creusé un abreuvoir au fond de la dépression pour le drainage des eaux. Celles-ci ont ensuite été ramenées avec succès dans leur bassin de réception par des techniques d'irrigation (83). Cette méthode semble donc possible lorsque la salinité des eaux de drainage n'est pas trop forte.

La plus grande partie des terres irriguées se trouve en Alberta et, d'après M. Oosterveld d'Agriculture Canada à Lethbridge (communication personnelle), environ 45 000 à 50 000 ha (soit 15% des terres) sont affectés par une forme quelconque de salinité. La plus grande partie des secteurs touchés sont situés en contrebas de canaux mal construits qui perdent trop d'eau par infiltration. Pour réduire cette infiltration, on a mis en branle un programme consistant à déplacer et à enduire les canaux d'un revêtement de béton, de bitume émulsionné et de caoutchouc ou de plastique.

Dans un rapport publié en Alberta et portant sur les terres irriguées (Stanley Associates Consultants, Lethbridge, Alberta, 1978), il était suggéré de généraliser l'emploi du drainage couvert pour venir à bout des problèmes actuels de salinité et d'engorgement en eau. De manière générale, on s'entend pour dire que le drainage est efficace dans l'assainissement des terrains actuellement dégradés, mais là où on s'entend moins, c'est au sujet de l'aggravation de l'engorgement et de la salinité quand les travaux de drainage ne sont pas exécutés. Plus de 50% des besoins en eau de la région sont satisfaits au moyen des précipitations naturelles, si bien qu'avec l'utilisation d'une quantité minimale d'eau d'irrigation de bonne qualité, il suffirait d'un peu de lessivage pour maintenir l'équilibre des sels dans le sol. Dans de nombreuses régions, la vitesse de drainage naturelle suffit aux besoins du lessivage (107).

Le vent est un autre mécanisme qui agit sur le mouvement des sels. Il a été démontré que le vent pouvait causer la salinisation et la solonisation des sols du côté sous le vent d'un lac au lit salin à alcalis en Saskatchewan (8). On a constaté un autre problème de sels soulevés par le vent dans les sols situés du côté sous le vent d'une usine d'engrais à partir de la potasse (21). On ignore cependant la gravité de ces cas.

Certains problèmes de salinité ont aussi été signalés par suite des rejets de saumure provenant des puits de pétrole de l'Alberta et de la Saskatchewan. La zone concernée est très petite et la pratique courante consiste à réinjecter cette eau salée dans des puits de refoulement.

5.3 La région des Grands Lacs, du Saint-Laurent et de l'Atlantique

On ne connaît aucun problème de salinisation ou de solonisation à l'est du Manitoba en raison des précipitations suffisantes et de l'absence habituelle de sels dans le sous-sol. Certains problèmes surgissent cependant lorsqu'il s'agit d'extraire les sels des sols de plaine inondable assainie sur la côte de la baie de Fundy, mais ces problèmes sortent du cadre du présent rapport.

6.0 ACIDIFICATION DU SOL

L'acidification est le processus par lequel des bases sont éliminées du complexe d'échange dans le sol et sont remplacées par de l'hydrogène et de l'aluminium, ce qui abaisse le pH dans la solution du sol. L'acidification est un processus naturel et continu qui agit dans le sol, mais l'acidification dont il sera question ici dans le contexte de la dégradation des sols est celle qui est accélérée par l'action de l'homme.

L'acidification accélérée est due à trois principaux processus:

i) L'addition de soufre, à l'état élémentaire, ou sous forme de sulfures ou encore de bioxyde sulfureux, lesquels s'oxydent en sulfate, produisant un acide. Ceci peut se produire par les émissions dans l'atmosphère provenant de la combustion des combustibles fossiles et de la désulfuration du gaz naturel, ou par suite de l'emploi d'engrais renfermant du soufre. Le soufre est l'un des principaux agents acidifiants dans les "pluies acides".

ii) L'emploi répété d'engrais azotés, soit sous forme d'urée ou sous forme d'ammoniac ou d'ammonium. La nitrification libère un H^+ et produit un échange avec des bases échangeables. Ce problème est des plus critiques en milieu humide et en terrain irrigué lorsqu'il existe un excédent d'eau pour le lessivage. L'azote atmosphérique contribue aussi au processus d'acidification.

iii) L'oxydation des sulfures en sulfate lorsque des sédiments marins sont drainés. Les composés du soufre, particulièrement les pyrites, qui se sont déposés en même temps que les matières organiques dans les anciens sédiments marins, ont été réduits pour produire des sulfures par des bactéries anaérobies. Lorsque ces sols sont drainés, ils deviennent aérobies et les sulfures sont oxydés en sulfates, ce qui acidifie le sol. Il s'agit généralement d'un problème localisé qui ne se rencontre que dans les plaines d'inondation et les estuaires côtiers poldérisés, mais il est parfois arrivé d'observer le processus dans d'autres types de sols.

L'acidification accélérée est un problème parce qu'elle donne lieu à une diminution de l'assimilabilité des éléments majeurs et parce qu'elle est susceptible d'accroître la solubilité de certains oligo-éléments jusqu'à les rendre toxiques. Dans l'un ou l'autre cas, la croissance des plantes est réduite et il peut être nécessaire d'ajouter de la chaux, ou lorsque c'est déjà le cas, il peut être nécessaire de chauler plus fréquemment afin de maintenir un niveau optimal du pH et de la saturation en bases dans le sol.

La carte n° 8 illustre les risques relatifs d'acidification du sol à partir du pH actuel, de la classe calcaire et de la texture des sols superficiels ainsi que de l'acidité découlant des dépôts atmosphériques. Les sols non calcaires et les sols sableux et légèrement calcaires n'ont parfois que peu de bases échangeables pour résister aux modifications de leur pH. Les sols dont la valeur du pH est déjà inférieure à 6,0 ont été inclus puisqu'il suffirait d'une baisse minimale de leur pH pour qu'ils soient moins propices à certaines cultures. Les sols situés dans l'est du Canada reçoivent suffisamment d'acidité par les apports atmosphériques pour que leurs risques d'acidification découlant des pratiques culturales fassent l'objet de considérations distinctes. Il existe probablement de petites zones de l'Alberta où les apports atmosphériques de soufre sont suffisamment élevés pour soumettre les sols aux risques d'acidification, mais on ne dispose pas de données suffisantes pour délimiter ces zones sur une carte. La carte n° 9 a été préparée afin d'illustrer la répartition des risques actuels d'acidification du sol par suite de l'emploi d'engrais azotés et de chaux.

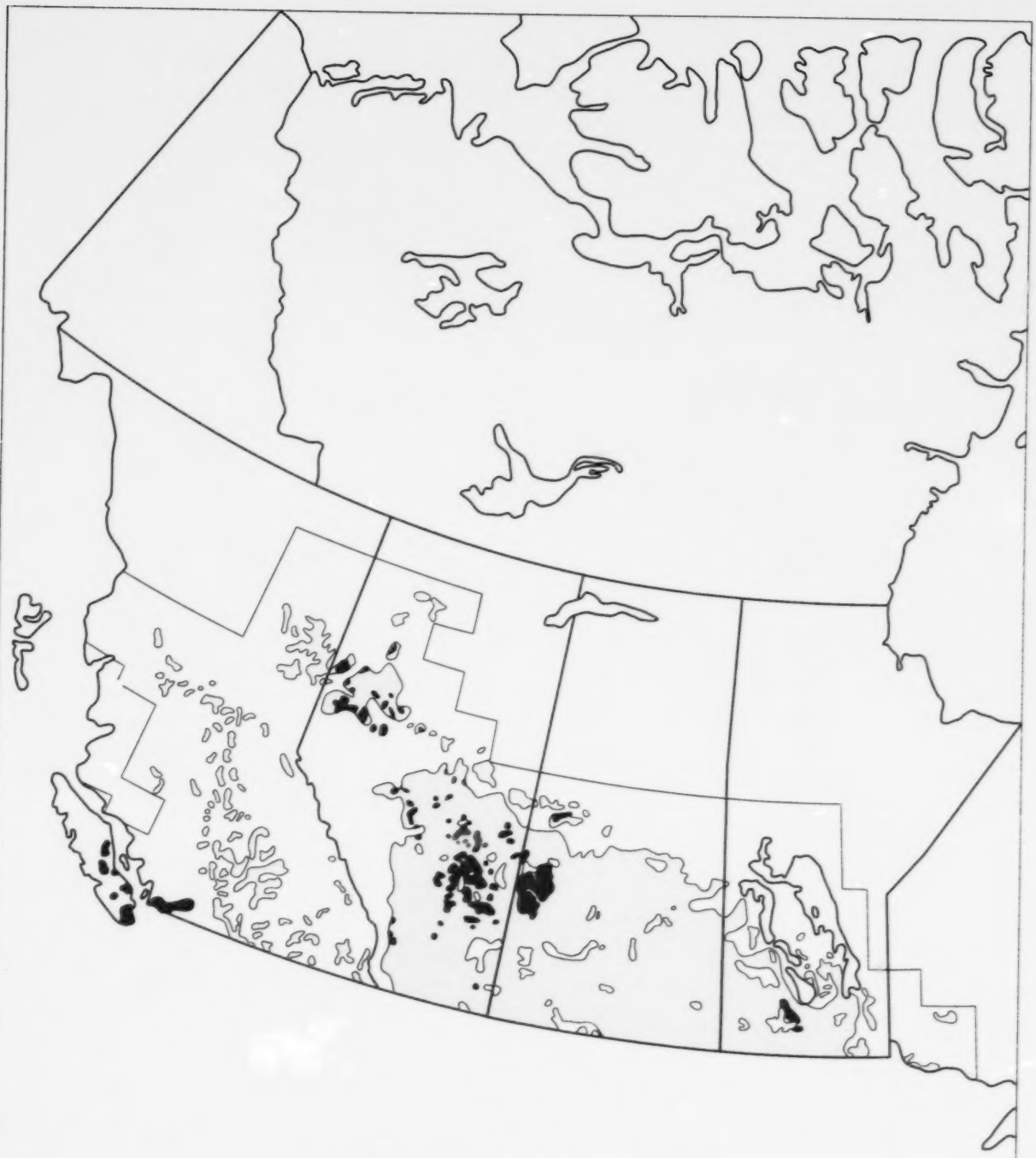
Les sols perdent leurs cations basiques au moment du lessivage et de la récolte à des vitesses très variables suivant le climat, le type de plante cultivée et la nature du sol. Ces vitesses de perte peuvent osciller entre moins 50 kg/ha/an en équivalent de $CaCO_3$ pour la monoculture des céréales en milieu semi-aride essentiellement dépourvu de lessivage, et plus de 1000 kg/ha/an dans un sol sableux fraîchement chaulé dans une région humide (94). Les quantités moyennes se situent aux environs de 500 kg en équivalent de $CaCO_3$/ha/an. Ainsi, les besoins de chaux supplémentaire qui résultent des apports atmosphériques se situent en moyenne aux environs de 3% de cette exigence moyenne (tableau 6). L'effet des engrais azotés est d'environ quatre fois cette quantité. Les recommandations concernant le chaulage s'appuient habituellement sur des données pédologiques tenant compte des effets de l'atmosphère et des engrais, si bien que les exigences globales en chaulage devraient revenir plus fréquemment aux endroits où les effets sont les plus marqués.

6.1 La région cordillérane

Sur les sols non calcaires de l'île de Vancouver et de la vallée du Bas-Fraser les apports des engrais et de l'atmosphère sont modérés, mais les données de prospection pédologique montrent une baisse du pH moyen du sol entre 1967 et 1975. En 1967, 65% des prélèvements faits dans l'île de Vancouver et 68% des prélèvements tirés des basses-terres continentales avaient un pH de 6,0 ou moins, comparativement à 89% et 87% en 1975 (50). L'emploi de la chaux dans cette région est considérable, puisqu'il est de l'ordre de 270 à 365 kg/ha/an (communication personnelle de P.B. Hyot d'Agriculture Canada, Summerland (C.-B.). Toutefois, comme en 1972 on a mis fin à un programme d'incitation au chaulage en Colombie-Britannique, l'emploi de la chaux a chuté de 10 à 20%.

Carte 8 Risques relatifs d'acidification des sols.

Carte 9 Risques relatifs d'acidification des sols modifiés par l'étendue des terres cultivées, l'emploi d'engrais azotés et le chaulage.



Carte 8: Risque relatif d'acidification des sols.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

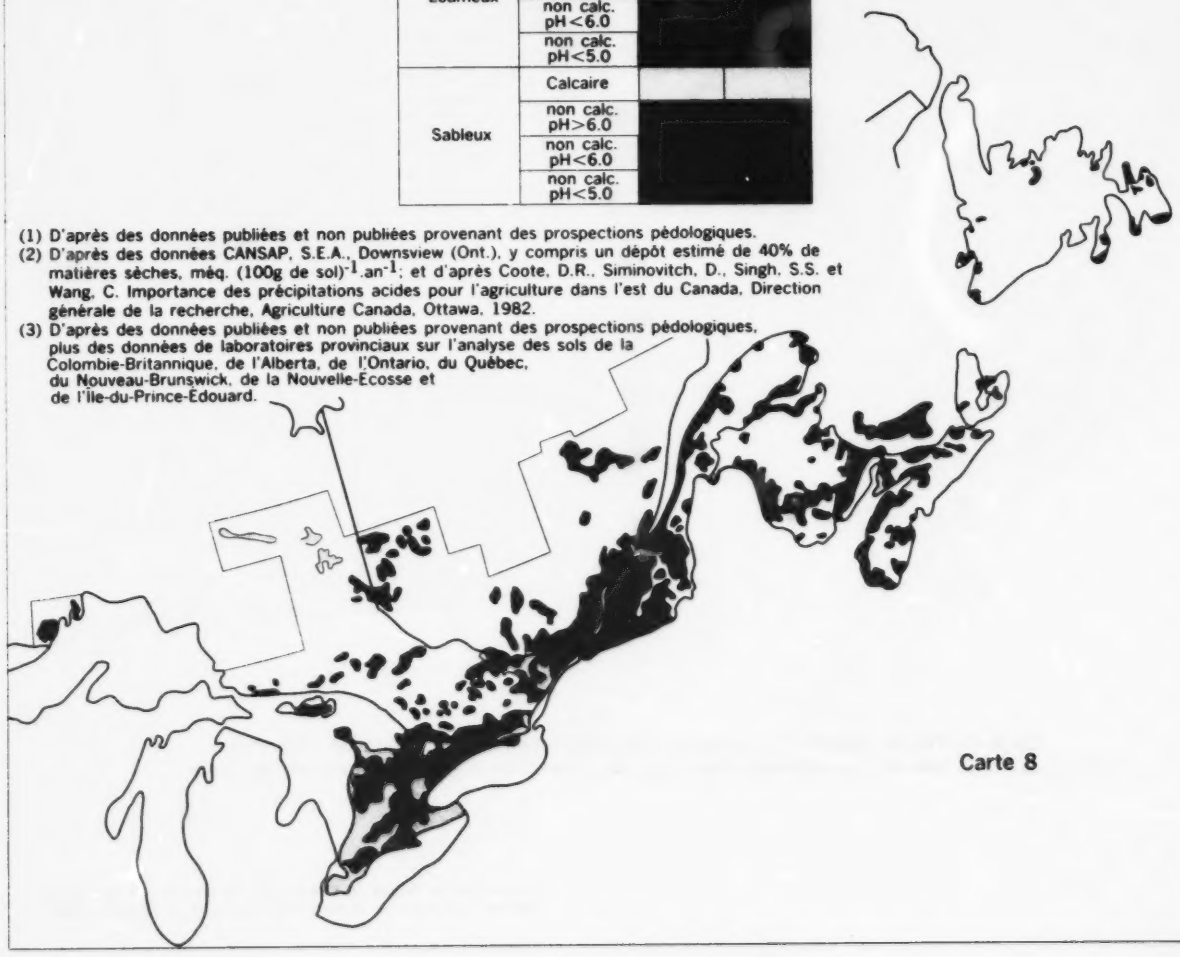
Élevé: voir tableau ci-dessous

Sol superficiel[1]		Dépôt atmosphérique annuel[2]	
Texture du sol superficiel	Calcaire et pH[3]	<20 méq. d'acidité par 100g de sol	>20 méq. d'acidité par 100g de sol
Argileux	Calcaire		
	non calc. pH>6.0		
	non calc. pH<6.0		
	non calc. pH<5.0		
Loameux	Calcaire		
	non calc. pH>6.0		
	non calc. pH<6.0		
	non calc. pH<5.0		
Sableux	Calcaire		
	non calc. pH>6.0		
	non calc. pH<6.0		
	non calc. pH<5.0		

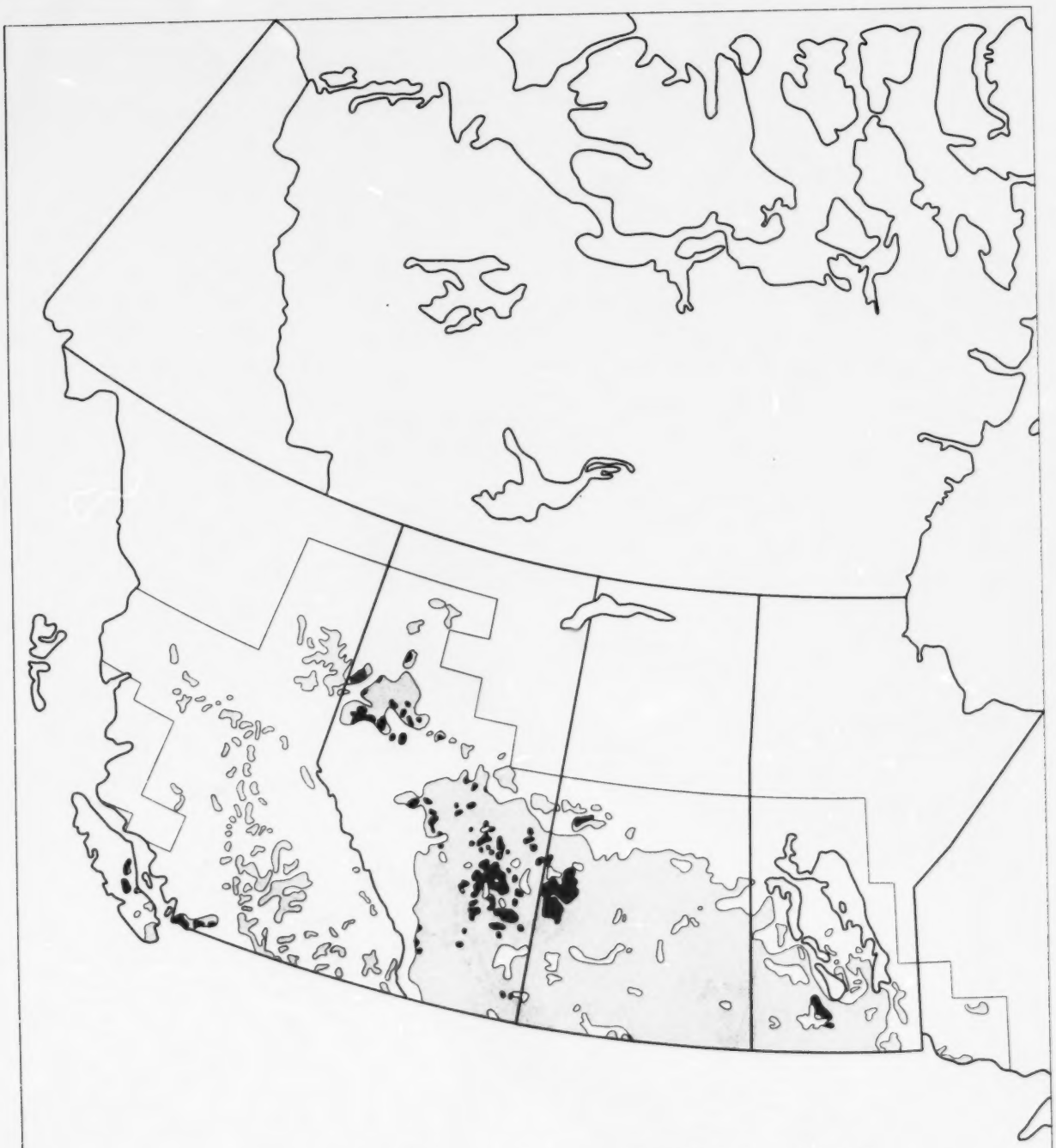
(1) D'après des données publiées et non publiées provenant des prospections pédologiques.

(2) D'après des données CANSAP, S.E.A., Downsview (Ont.), y compris un dépôt estimé de 40% de matières sèches, méq. (100g de sol)$^{-1}$.an^{-1}; et d'après Coote, D.R., Siminovitch, D., Singh, S.S. et Wang, C. Importance des précipitations acides pour l'agriculture dans l'est du Canada, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Ottawa, 1982.

(3) D'après des données publiées et non publiées provenant des prospections pédologiques, plus des données de laboratoires provinciaux sur l'analyse des sols de la Colombie-Britannique, de l'Alberta, de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard.



Carte 8



Carte 9: Risque relatif d'acidification des sols, modifié en fonction de l'étendue des terres cultivées, ainsi que de l'utilisation d'engrais azotés et de chaux.

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.

Faible: voir tableau ci-dessous

Modéré: voir tableau ci-dessous

Élevé: voir tableau ci-dessous

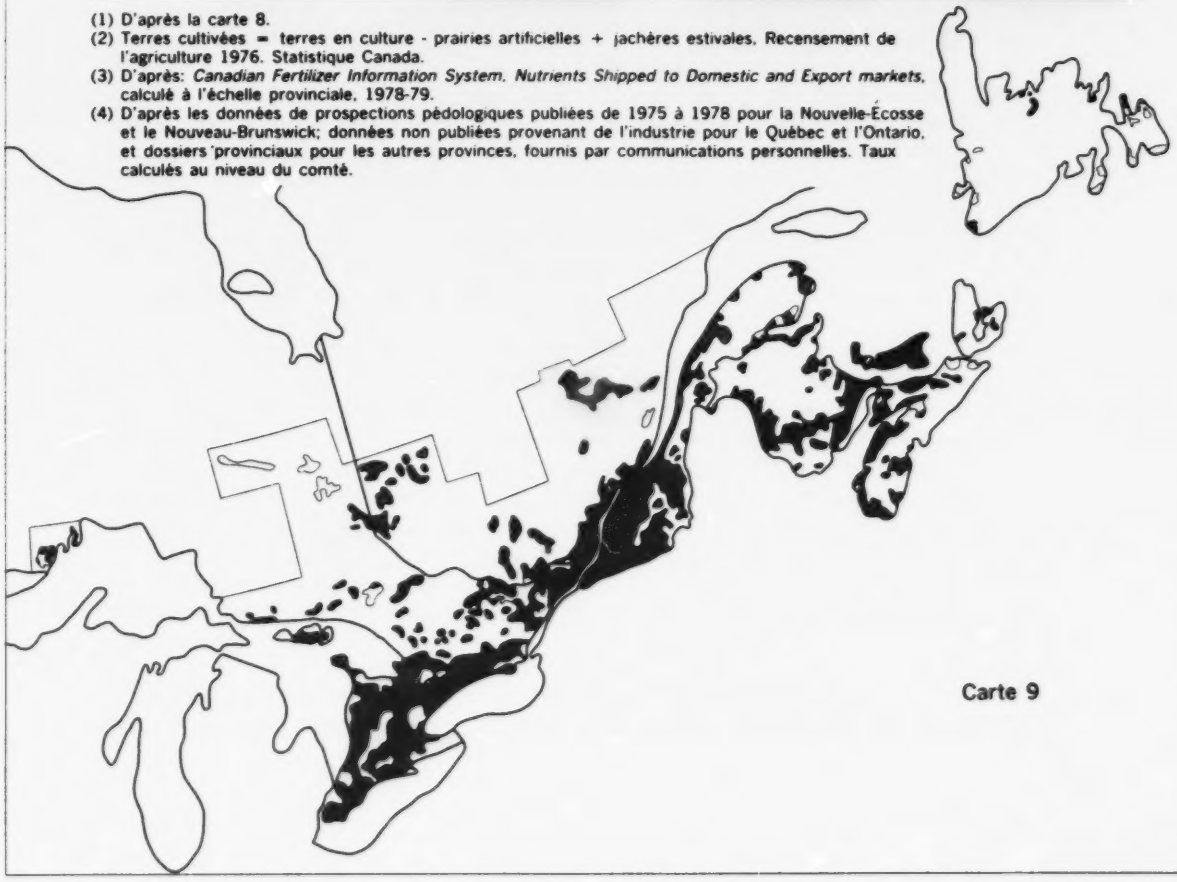
Risque d'acidification[1]	Terres cultivées (% des terres améliorées)[2]	Utilisation d'engrais N (kg/ha cultivé an)[3]								
		0-15			15-40			>40		
		Utilisation de chaux (kg/ha cultivé an)[4]								
		>1000	100-1000	<100	>1000	100-1000	<100	>1000	100-1000	<100
Faible	<30									
	30-75									
	>75									
Modéré	<30									
	30-75									
	>75									
Élevé	<30									
	30-75									
	>75									

(1) D'après la carte 8.

(2) Terres cultivées = terres en culture - prairies artificielles + jachères estivales. Recensement de l'agriculture 1976. Statistique Canada.

(3) D'après: *Canadian Fertilizer Information System. Nutrients Shipped to Domestic and Export markets*, calculé à l'échelle provinciale, 1978-79.

(4) D'après les données de prospections pédologiques publiées de 1975 à 1978 pour la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick; données non publiées provenant de l'industrie pour le Québec et l'Ontario, et dossiers provinciaux pour les autres provinces, fournis par communications personnelles. Taux calculés au niveau du comté.



Carte 9

Dans la région de l'intérieur, la plupart des sols se sont formés sur une roche-mère modérément calcaire. Toutefois, même si seulement 8% des échantillons de sols envoyés au laboratoire de prospection pédologique en 1967 et provenant des terres agricoles de la vallée de l'Okanagan possédaient un pH dont la valeur était de 6,0 ou moins, en 1975 ce pourcentage avait grimpé à 23% et presque la moitié des pH étaient inférieurs à 5,0 (50). En 1972, une enquête a révélé qu'environ 50% des vergers possédaient au moins un échantillon dont le pH était inférieur à 5,5 (62). L'étude concluait que l'acidité du sol dans l'Okanagan était à la hausse et que les engrais étaient la principale cause du problème. Des travaux inédits effectués par l'université de la Colombie-Britannique ont démontré que bon nombre des échantillons de sol prélevés à partir des canalisations d'irrigation par gouttes ont un pH inférieur à 4,0 (communication personnelle, L. Lavkulich, univ. de la C.-B.).

De petites zones de sols acides contenant des sulfates ont été observées dans les sols de plaine d'inondation poldérisée de la vallée et du delta du Bas-Fraser et ils ont été drainés afin d'être mis en culture. Jusqu'ici, on ignore l'importance pour l'agriculture de l'acidification de ces sols.

6.2 La région des grandes plaines

L'acidification semble être la plus courante dans les luvisols gris, les chernozems et les solonetz brun gris et noirs du centre et du nord de l'Alberta, du district de la Rivière-de-la-Paix en Colombie-Britannique et du nord-ouest de la zone de terres cultivées en Saskatchewan près de Meadow Lake et de Lloydminster. Bien que nombre de ces sols se soient formés sur une roche-mère calcaire ou saline, le lessivage des horizons de surface les a laissés sans calcium et sans autre base, souvent même avec un pH inférieur à 6,0. Un pH inférieur à 6,5, est considéré comme limitatif pour l'agriculture de l'Ouest canadien (127).

Ces sols sont vulnérables à toute hausse en acidité provenant d'engrais à l'ammonium et d'apports atmosphériques par suite de leur faible pH naturel. L'emploi d'engrais s'est accru de façon constante et il a tendance à être le plus élevé dans les zones de sols relativement acides (50). On s'est déjà inquiété des possibilités d'acidification plus poussée à partir de cette source (84). Dans certains sols solonetziques, on a pratiqué un labourage profond afin d'amener le calcium à la surface, mais cette pratique ne convient pas à toutes les régions (50), c'est pourquoi nous ne pouvons la recommander pour le moment.

Bien que l'acidité atmosphérique (H^+, NH_4^+) soit généralement faible dand l'Ouest canadien, il existe un secteur

de soufre atmosphérique plus élevé qui va de la frontière américaine au district de la Rivière-de-la-Paix à l'est des Rocheuses. Ce phénomène est dû, d'une part, à l'extraction du gaz naturel qui est pratiqué dans la région, et qui permet à certaines émissions de soufre gazeux et de particules de soufre de pénétrer dans l'atmosphère pendant la combustion et l'extraction du soufre et, d'autre part, à la poussière s'échappant des endroits où le soufre est stocké. Une simple prédiction de l'acidification des sols à partir des dépôts de soufre atmosphérique est impossible puisque la plus grande partie du soufre est déposée sous forme de sels neutres qui n'entraînent pas d'acidité (81). Toutefois, on a attribué des pH réduits aux émissions atmosphériques provenant des usines de traitement du gaz jusqu'à au moins 10 km du côté exposé au vent passant par les dites usines (50). On a estimé à moins de 400 ha, la superficie des sols affectés directement par la poussière de soufre soulevée par le vent et provenant des tas de soufre, mais il en est résulté des pH descendant jusqu'à 2,0, ce qui a nécessité l'emploi de doses massives de chaux allant jusqu'à 630 t/ha pour remédier à la situation (80).

Dans certains cas, comme pour les luvisols gris déficients en soufre, le transport du soufre atmosphérique est bénéfique (79). Malheureusement, les sols les plus déficients en soufre ne sont pas situés dans les zones qui ont le plus à souffrir des dépôts de soufre atmosphérique.

Il existe un problème d'approvisionnement en chaux dans les régions les plus affectées par l'acidification. C'est particulièrement le cas dans le district de la Rivière-de-la-Paix où les coûts de transport sont élevés et où la chaux est pratiquement introuvable à l'heure actuelle. Elle est à peine plus facile à trouver dans les autres régions affectées, si bien qu'elle n'est employée à peu près nulle part dans les Prairies.

Des estimations modérées fondées sur la vitesse actuelle d'acidification découlant de l'emploi des engrais, mais faisant abstraction des retombées atmosphériques, indiquent des besoins de plus de 350 000 t/an de chaux, seulement pour maintenir les pH actuels (50). Pour restaurer les pH à environ 0,5 unité au-dessus de leur niveau actuel, il faudra employer plus de deux fois cette quantité. Environ 25% des besoins en chaux sont destinés au district de la Rivière-de-la-Paix.

A l'heure actuelle, on ne considère pas l'acidification comme un problème en Saskatchewan, au sud de la région de Meadow Lake - Lloydminster puisque l'emploi d'engrais azoté est relativement restreint et que les sols possèdent amplement de bases échangeables. Bien que l'emploi des engrais soit plus répandu au Manitoba qu'ailleurs dans la région, on n'y a encore noté aucun problème d'acidification.

Tableau 6 Contribution moyenne annuelle approximative à l'acidité du sol par les apports atmosphériques (1977-1979) et l'emploi des engrais (1974-1979) exprimé en équivalents de $CaCO_3$ nécessaire à la neutralisation ($CaCO_3$ en kg/ha par an).

Provinces	Atmosphérique[1]	Engrais[2]	Total
Provinces de l'Atlantique	30	84	114
Québec	35	51	86
Ontario	33	90	123
Manitoba	5	72	77
Saskatchewan	0	12	12
Alberta	2	51	53
C.-B.	5	66	71
moyenne	16	61	77

1. A partir de l'apport estimatif de l'acidité transportée sur de longues distances provenant des précipitations calculées à partir de: $[H^+ + 1{,}15\ (NH_4^+) - 0{,}7\ (NO_3^-)]$; Voir Coote, D.R., Siminovitch, D., Singh, S.S. et Wang, C. Importance des précipitations acides pour l'agriculture dans l'est du Canada, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982. Les dépôts localisés à partir de sources ponctuelles comme les fonderies et les usines de gaz ne sont pas considérés dans ces données.

2. A partir des données sur les ventes d'engrais fournies par l'Institut canadien des engrais, en supposant des besoins moyens de 3 g $CaCO_3$ par g N (17, 84) et exprimé en unités de surface des terres améliorées. Dans certaines parcelles, les apports peuvent dépasser 500 kg/ha/an.

6.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

On s'est encore peu penché sur l'acidification des sols en Ontario et au Québec, mais il existe quand même un problème potentiel en raison des fortes précipitations, de l'emploi généralisé des engrais azotés et des importants apports de soufre et d'ammonium provenant de l'atmosphère. L'acidification des sols semble en voie d'accélération par suite de l'emploi abondant qui est fait de l'engrais azoté pour la production du maïs et en raison du déplacement vers le nord-est de l'air pollué provenant des complexes industriels situés dans les États américains des Grands Lacs et dans le centre-sud de l'Ontario et du Québec.

Les terres qui appartiennent à la partie ontarienne du bassin des Grands Lacs ont reçu en 1974 une moyenne de plus de 50 kg par hectare de sulfate en provenance de l'atmosphère, certaines régions recevant jusqu'à 95 kg de SO_4 par hectare (1). Ces apports devraient se poursuivre à peu près au même rythme jusqu'en l'an 2000, même si la désulfuration était rendue obligatoire sur les lieux mêmes des cheminées d'usines. Si la désulfuration n'est pas rendue obligatoire, la vitesse de dépôts augmentera probablement d'environ deux fois et demie d'ici l'an 2000 (1), sans compter l'augmentation possible de l'emploi du charbon pour la production d'énergie. Afin de neutraliser l'apport moyen actuel d'acidité provenant de l'atmosphère (soufre et ammonium) à travers la partie agricole de la région, il faudrait approximativement de 30 à 40 kg de $CaCO_3$/ha/an ou environ une tonne de calcaire à l'hectare tous les 25 ans.

L'acidification des lacs du Bouclier canadien a reçu beaucoup d'attention ces derniers temps, mais peu de travaux ont été effectués sur l'acidification accrue des sols de cette région. Dans une zone située à l'est de Sudbury, exposée au vent passant par une fonderie de nickel, on a enregistré des pH moyens de 3,7 dans les sols superficiels situés dans un rayon de 3,5 km autour de l'usine (95). Le problème a été attribué aux émissions de soufre.

Dans certains sols cultivés de l'Ontario, certaines recherches en cours permettent de croire que l'emploi plus poussé d'engrais, combiné à un lessivage accru par suite de l'accumulation des eaux d'écoulement dans certains cas, a mené à une acidité accrue du sol et à une baisse dans le rendement des récoltes (85). Toutefois, l'étendue du problème est encore inconnue. On a constaté que de nombreux sols superficiels appartenant à des parcelles du sus-ouest de l'Ontario renfermaient des secteurs dont le pH descendait jusqu'à 3,4 et 4,0. De telles valeurs sont presque toujours liées à des sols sableux, à la monoculture du maïs et à l'emploi massif d'azote pendant un certain nombre d'années; la carence en magnésium semble être le premier symptôme visible du problème (communication personnelle, C.S. Baldwin, O.M.A.F., Ridgetown).

Des problèmes analogues ont été constatés dans certains sols sableux employés pour la culture du maïs et de la pomme de terre dans le centre-sud de l'Ontario bien que sous les horizons de surface certains de ces sols soient très calcaires. Au Québec, certains podzols sableux ont révélé une tendance à la réduction de leur pH au bout de 25 ans de culture légère. Cet effet n'a pas été observé cependant dans les gleysols à texture plus fine de la même région (67).

L'emploi de la chaux en Ontario s'est accru de façon constante au cours des 35 dernières années, mais il reste faible comparativement au Québec et comparativement aux apports d'activité provenant de l'atmosphère et des engrais. Il a été estimé à partir des données sur les ventes[1] que les terres améliorées de l'Ontario avaient reçu une moyenne d'environ 25 à 30 kg/ha/an de $CaCO_3$ entre 1975 et 1977. Il ne s'agit là que de 20 à 25% de la quantité requise pour neutraliser l'acidité provenant de l'atmosphère et des engrais. De manière générale, les sols de l'Ontario se sont formés sur une roche-mère modérément calcaire et sont par conséquent relativement bien protégés contre une acidité accrue en raison de leur pH neutre et de leur forte capacité d'échange cationique. Il pourrait donc s'écouler de nombreuses années avant que l'absence de chaulage entraîne des problèmes de pH. Cependant, sur les sols sableux particulièrement ceux qui sont employés pour des cultures fortement fertilisées comme le maïs et la pomme de terre, ces problèmes deviennent déjà évidents. Au Québec, l'emploi de la chaux est à peu près de 5 à 6 fois supérieur à l'Ontario[2], même si l'acidité provenant de l'atmosphère et des engrais est plus faible. Bien que de nombreux sols du Québec soient moins bien tamponnés que ceux de l'Ontario, les pratiques actuelles de chaulage semblent, en moyenne, assez bien adaptées à l'acidité accélérée qui sévit.

6.4 La région de l'Atlantique

L'acidité est une caractéristique inhérente à de nombreux sols de la région de l'Atlantique, puisque de fortes pluies et une faible évapotranspiration y assurent un lessivage intense du sol. Aux endroits où on emploie de fortes quantités d'engrais azotés, il existe un potentiel d'acidification accélérée. Au Nouveau-Brunswick et dans l'Ile-du-Prince-Edouard, où de vastes secteurs sont consacrés à la culture de la pomme de terre, l'acidification ne s'est pas révélée un problème pour cette culture, mais elle gêne la croissance des autres plantes

---

[1] Energie, Mines et Ressources, Canada, Direction des politiques minérales, Ottawa, "Limestone used for agricultural purposes". Données inédites, 1975-1977.

[2] Les Producteurs de pierre à chaux du Québec, Inc., Verdun, Qc. Données inédites, 1974-1978.

cultivées en alternance. Le problème vient du fait qu'il est nécessaire de procéder à la rotation des cultures pour mieux lutter contre l'érosion des sols.

On ne sait pas grand chose au sujet de l'acidification accélérée des sols dans la plus grande partie de cette région. Toutefois, dans l'Ile-du-Prince-Edouard, des données de prospection pédologique ont révélé que le pH y avait tendance à être inférieur en 1977 par rapport aux 5 années précédentes, mais on n'a pas réussi à en donner l'explication (123). Les producteurs de pommes de terre, de tabac et de maïs ont soumis des échantillons de sols dont le pH avait tendance à être inférieur à celui des échantillons soumis avant d'ensemencer des plantes fourragères et des céréales. Même si les données ne permettent pas de tirer des conclusions, elles permettent de penser que les exploitations pratiquant moins l'alternance des cultures et davantage la monoculture ont des sols plus acides.

Il a été démontré que l'acidité atmosphérique qui règne dans les provinces maritimes était modérée en raison de vents dominants qui soufflent du sud-ouest, et ce malgré l'éloignement relatif de cette région des concentrations industrielles. Il existe aussi des secteurs éventuellement critiques mais restreints à proximité des centrales et des industries qui consomment du charbon, comme c'est le cas dans la région de Bathurst au Nouveau-Brunswick et dans certaines parties de l'Ile du Cap-Breton.

L'emploi de la chaux est courant dans la région de l'Atlantique. En Nouvelle-Ecosse, les quantités moyennes d'amendements calcaires effectués afin d'améliorer les terres, ont oscillé, suivant des données par comté[1], entre 390 et 4026 kg/ha/an de 1975 à 1978; au Nouveau-Brunswick, ces quantités ont varié entre 220 et 1853 kg/ha/an (1977 à 1979[2]). Dans l'Ile-du-Prince-Edouard, les doses moyennes appliquées ont été de 260 kg/ha/an entre 1975 et 1980[3], et à Terre-Neuve, il est fréquent d'effectuer des amendements allant jusqu'à 4000 kg/ha. Ces valeurs excèdent la moyenne combinée des besoins en acidité provenant de l'atmosphère et des engrais, mais puisque les sols se forment sur une roche-mère non calcaire et qu'ils ont tendance à avoir une texture grossière et à être pauvres en matières organiques, ils sont mal tamponnés contre l'acidité. Il leur faut des amendements calcaires fréquents afin de leur éviter une acidité excessive.

---

[1] Ministère de l'Agriculture et de la Commercialisation de la Nouvelle-Ecosse, Statistiques agricoles, 1978, p. 72.

[2] Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie rurale du Nouveau-Brunswick, Statistiques agricoles, 1977-1979.

[3] Communication personnelle, R. Vinot, Laboratoire de prospection podologique de l'I.-P.-E., Charlottetown.

On rencontre des sols marins riches en sulfate à différents endroits de certains polders des estuaires côtiers et des plaines inondables de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et dans le voisinage de la baie de Fundy, mais on ne connaît pas encore très bien l'étendue des zones critiques. Certaines données en provenance du Nouveau-Brunswick (97) révèlent que dans les sols poldérisés depuis 8 à 12 ans, on a trouvé des pH qui n'étaient que de 4,5 à 5,2 dans les 30 premiers cm de sol, comparativement à un pH de 6,4 à 7,1 pour les terres récemment poldérisées. Cela peut s'expliquer par le lessivage des sels à partir des horizons de surface et par l'acidification causée par l'oxydation du soufre. Dans les sols poldérisés depuis plus de 50 ans, la valeur du pH a oscillé entre 5,6 et 5,8 dans les 30 premiers cm de sol, probablement en raison du lessivage des sulfates provenant du profil du sol.

7.0 LA CONTAMINATION DU SOL

On considère ici la contamination du sol comme la détérioration de la qualité du sol par suite d'apports chimiques autres que les sels, le soufre et l'azote dont il est question dans les chapitres sur la salinisation et l'acidification. Elle comprend notamment les retombées atmosphériques, l'évacuation des boues d'épuration et des boues industrielles, les résidus de pesticides et la contamination biologique.

Les retombées radioactives et les résidus tenaces des pesticides organochlorés ne font pas l'objet de considérations plus détaillées puisqu'ils sont tous deux impossibles à déterminer et parce qu'ils semblent en voie de se situer sous les niveaux de tolérance. Le taux de retombées radioactives (comme le strontium 90) a connu un sommet vers les années 1965-1966 et il diminue actuellement grâce à la décomposition naturelle (21). Si l'on s'abstient de poursuivre les essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère et si l'on ne connaît pas de catastrophe nucléaire, ces niveaux devraient continuer à décroître. On ne connaît aucune méthode pratique permettant de réduire les niveaux actuels et on a constaté que l'absorption par les plantes était inférieure aux normes prescrites pour la santé publique (21). En autant qu'on sache, les déchets radioactifs des centrales nucléaires sont éliminés de manière à ne pas affecter les terres agricoles.

Entre 1969 et 1972, on a abandonné l'emploi de l'aldrine, de la dieldrine et du DDT; de plus, on a grandement restreint l'emploi d'insecticides comme le chlordane, l'heptachlore et l'endosulfan (43). On a réuni de nombreux renseignements sur le sort des pesticides organochlorés à caractère tenace dans le sol. La concentration de ces composés diminue grâce à la décomposition biologique. Toutefois, la nature du sol et le type de climat influent sur la vitesse de décomposition, celle-ci étant plus grande dans les sols plus chauds, plus humides, et à texture plus grossière que dans les sols plus frais, plus secs et à texture plus lourde (38, 45, 110).

Lorsqu'ils sont employés en quantité normale, peu d'herbicides conservent leur concentration phytotoxique dans le sol pendant plus d'un an (4). Cependant, les climats frais et les sols argileux contribuent aussi à retarder la décomposition des herbicides tandis que certains d'entre eux, comme le paraquat sont si bien soudés aux particules argileuses du sol que la décomposition est presque stoppée, ce qui entraîne parfois son accumulation (61).

Le grand intérêt que la population porte aux problèmes écologiques que l'emploi des pesticides pourrait occasionner, de même que les exigences rigoureuses concernant l'évaluation des produits avant leur mise sur le marché, ont contribué à réduire la gravité de la contamination du sol par les résidus de pesticides. Toutefois, la réaction des pesticides dans le sol reste une considération importante et toujours présente pour laquelle une vigilance et une surveillance constantes sont nécessaires.

La contamination biologique est un problème complexe qui met en cause des organismes comme le nématode doré de la pomme de terre à Terre-Neuve et dans l'île de Vancouver, de même qu'un grand nombre d'autres organismes pathogènes vivant dans le sol, comme l'hernie du choux et le piétin-verse des céréales et du tabac. Certains parasites et certaines maladies des animaux, comme la coccidiose de la volaille et le charbon du bétail peuvent aussi être transmis par le sol et les sols peuvent être contaminés par les organismes en cause (21). Cependant, la survie de la plupart des organismes parasites et pathogènes est de durée relativement courte; une bonne surveillance du bétail et des pâturages peut éviter la réinfection. Au Canada, il ne semble pas exister actuellement de terres où l'on empêche l'élevage du bétail en raison de la contamination du sol par des organismes pathogènes.

On peut aussi mentionner certaines autres formes de contamination biologique. Ainsi, les racines ou les résidus des plants cultivées auparavant laissent dans le sol des exsudats ou des produits de décomposition qui sont toxiques ou néfastes aux cultures suivantes. On peut notamment citer le cas des résidus de blé ou de colza qui gêneront la germination de la récolte suivante si celle-ci est en blé. Ce type de dégradation du sol est maîtrisable pourvu qu'on respecte une bonne alternance des plantes cultivées et de bonnes techniques agrologiques.

7.1 La région cordilléranne

On a observé peu de problèmes de contamination en Colombie-Britannique. Les apports atmosphériques de métaux lourds comme le plomb et le zinc existent peut-être dans la région de Trail, mais au cours des dernières années, leurs émissions dans l'atmosphère ont diminué. Cette région est presque entièrement boisée.

Les déchets industriels ne constituent pas un problème général en Colombie-Britannique puisque la fabrication extensive n'existe que dans la région de Vancouver. Les boues d'épuration de Vancouver sont soit asséchées et enfouies dans le sol, soit incinérées ou stockées (12). Dans les zones urbaines de l'intérieur, le traitement des boues devient de plus en plus fréquent afin de protéger les lacs contre la pollution, mais on doit aujourd'hui faire face à des problèmes d'évacuation des boues et/ou des effluents. C'est pourquoi on pratique souvent l'irrigation par aspersion des effluents et l'épandage agricole des boues une fois qu'elles ont été asséchées. Il est arrivé d'évacuer des boues sur des terres agricoles et des terres en parcs; à Kelowna, on a même fait un peu de compostage.

Les résidus de l'industrie et de la transformation des fruits et légumes renferment du sodium, sont très alcalins et susceptibles de contaminer les sols si leur évacuation n'est pas bien planifiée. D'énormes quantités de fumier sont parfois étendues sur de petites parcelles de terre, particulièrement à proximité de Vancouver où les terres sont limitées. Une telle pratique peut entraîner des apports excessifs d'éléments nutritifs et une contamination possible par les métaux.

Dans certaines parties de la Colombie-Britannique, l'exploitation des vergers et des maraîchers pendant des périodes prolongées a causé l'accumulation de certains résidus de pesticide dans le sol. On trouvait de l'arsenic, du plomb et du cuivre dans les pesticides employés avant que les composés organochlorés ne fassent leur apparition dans les années 50. Ces résidus ont été découverts dans certains vergers de la vallée d'Okanagan, mais il est peu probable que leur accumulation ait atteint des concentrations toxiques puisqu'ils ont été retirés du marché dès les premiers signes de contamination en 1938 (41). On a rencontré certains résidus à forte teneur en bore, mais cela s'explique, car on a appliqué beaucoup de bore pour corriger une carence dans les sols de cette région (86).

7.2 La région des grandes plaines

L'élimination des déchets pourrait y devenir un problème au voisinage des grandes villes et des problèmes de contamination pourraient surgir si les déchets industriels sont éventuellement mêlés aux boues évacuées sur les terres. Actuellement, Edmonton emmagasine ses boues, avec la lointaine intention de s'en servir comme d'un "conditionneur du sol" ou de les placer dans des décharges contrôlées. Calgary avait l'habitude d'emmagasiner ses boues, mais depuis 1976 la ville a entrepris de procéder à leur épandage. Les villes de Yorkton, Régina et Saskatoon ont toutes épandu une partie de leurs boues sur des terres cultivées. La ville de Winnipeg évacue ses boues sur des terres cultivées sans aucune restriction (on y procède même à l'épandage d'hiver sur des sols gelés), les cultures fourragères

sont cependant déconseillées aux endroits où les boues ont été évacuées (12, 126). L'évacuation des déchets constitue aussi un problème pour les petites localités dispersées dont la capacité de lagunage est insuffisante et dont les méthodes d'évacuation laissent à désirer (21). A nombre de ces endroits, les eaux usées de la municipalité sont employées pour l'irrigation.

L'Alberta et la Saskatchewan connaissent des problèmes de contamination des sols en raison des déversements provenant des oléoducs. Certains sols ont subi aussi des dégâts par suite des déversements de brut ou de leur brûlage à proximité des puits de pétrole (21). Les sols contaminés par les déversements d'huile légère peuvent cependant être assainis dans les quatre années qui suivent grâce au travail du sol et à l'emploi d'engrais (72). Certains sols ont été aussi contaminés par la poussière soulevée par le vent et provenant d'exploitations minières voisines.

Bien que les problèmes de résidus d'insecticides ne soient pas un danger en raison de leur emploi très limité, il existe certaines craintes au sujet de la pratique éventuellement plus répandue de la culture minimale et de la non-culture avec l'emploi accru des herbicides qui en découlera.

7.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

C'est la région la plus menacée par la contamination des sols. Elle est exposée à des quantités considérables de polluants atmosphériques provenant à la fois de la région même et des grandes régions industrielles des Etats-Unis. On y trouve des quantités considérables de déchets urbains et industriels pour l'épandage parce que par suite des normes strictes de lutte contre la pollution visant les Grands Lacs, le traitement de ces déchets est plus complet dans le sud de l'Ontario que n'importe où ailleurs au Canada. Par conséquent, les terres cultivées reçoivent une grande quantité de boues d'épuration et cette pratique devrait se développer à mesure que les décharges disparaîtront. Cette région possède aussi la plus forte densité industrielle et urbaine au Canada, ce qui donne lieu à une production énorme de déchets. Comme la consommation de combustible y est élevée, on trouve d'abondantes émissions de plomb dans l'atmosphère. La production intensive de fruits et légumes dans la région a aussi mené à une utilisation des pesticides plus grande que dans les autres régions.

En 1975, environ 11 100 hectares cultivés de l'Ontario ont servi à l'évacuation des boues d'épuration, toutes ces terres étaient situées dans un rayon de 40 km de chacune des villes qui avaient produit les boues (126). En 1978, 34% des boues d'épuration de l'Ontario ont été évacuées de cette manière, le

reste étant surtout incinéré (41%) ou versé dans des décharges (16%). Avec l'élévation possible du degré d'élimination du phosphore dans les stations d'épuration des eaux usées afin de répondre aux exigences de l'Entente révisée Etats-Unis - Canada sur la qualité des eaux des Grands Lacs, on peut s'attendre à ce que les quantités de boues qu'il faudra évacuer augmenteront encore. Comme les terres employées pour l'évacuation des boues ne doivent pas recevoir d'autres boues pendant un certain nombre d'années afin d'éviter l'accumulation des métaux lourds, la superficie totale nécessaire pourrait être de cinq à dix fois plus considérable que la superficie employée en une quelconque année.

Au Québec, on ne pratique pas encore l'épandage des boues pour le moment puisque, de manière générale, les grands centres urbains comme Montréal ne possèdent pas encore les installations voulues pour un traitement complet des eaux usées. Le versage est fait directement dans le Saint-Laurent et ses affluents.

Les boues d'épuration constituent une source précieuse d'azote et de phosphore pour les plantes cultivées. Des études menées en Ontario montrent que l'absorption par les plantes est faible et que les pertes de métaux lourds dues au lessivage sont négligeables (126). C'est donc une indication que ces métaux s'accumulent dans les sols sur lesquels sont évacuées les boues. Les principaux métaux sont le mercure, le cadmium, l'arsenic, le plomb, le chrome, le nickel, le cuivre et le zinc, chacun d'eux étant retenu par le sol sous forme de composés organiques et de chélates à la suite de l'épandage des boues (10). Une accumulation progressive continue pourrait mener à une toxicité éventuelle pour les plantes et peut-être pour le bétail ou les êtres humains, mais on n'a pas encore déterminé de concentrations critiques. Jusqu'à ce jour, certaines boues ont été déclarées inacceptables pour l'épandage en raison de leur teneur en cadmium (126). Le ministère de l'Environnement de l'Ontario a préparé des directives pour l'évacuation des boues d'épuration afin d'empêcher toute accumulation excessive de métaux lourds dans les sols où les boues sont répandues[1].

De nombreux sols ontariens réservés autrefois à des vergers et à des maraîchers (particulièrement pour la pomme de terre) ont connu de légères élévations de leurs concentrations en arsenic, en cuivre, en mercure et ou en plomb, ou une combinaison de ceux-ci, par suite de l'emploi qu'on y a fait des pesticides et des défanants (44). Par conséquent, l'épandage

---

[1] Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Direction de la lutte contre la pollution, Guidelines for Sewage Sludge Utilization on Agricultural Lands, rapport préliminaire, avril 1978.

des boues sur de tels sols peut être plus dangereux qu'ailleurs. Les sols organiques employés pour le maraîchage ont la capacité d'accumuler des quantités considérables de métaux lourds provenant des pesticides ou des additions d'oligo-éléments visant à suppléer aux carences. Dans ce dernier cas, les recherches ont porté plus particulièrement sur les incidences du cuivre (44).

La grande partie de la région qui est consacrée indifféremment à la culture du maïs et du soya connaît aussi un problème avec les arrière-effets d'herbicides comme l'atrazine. Celui-ci peut porter atteinte aux récoltes ultérieures, mais il s'agit généralement d'une forme temporaire de contamination du sol et elle peut-être évitée en procédant à une sélection soignée des herbicides et en apportant l'attention voulue à la séquence des plantes cultivées.

Dans la région du lac Saint-Jean, on a remarqué que les sols étaient contaminés par le fluor et que le problème semblait découler des retombées provenant des alumineries du Saguenay (21). Dans l'est de l'Ontario, la contamination par le fluor des sols de l'île de Cornwall semble aussi se produire du côté exposé à un vent qui souffle d'une fonderie d'aluminium et on soupçonne que cette contamination affecte la santé du bétail. La pollution du sol par le cobalt, le cuivre et le nickel contenus dans des retombées industrielles a été constatée dans le voisinage des fonderies de cobalt-nickel en Ontario (44) et par le Ni, le Cu, le Zn, le Fe et le S près d'une fonderie de nickel dans la région de Sudbury (95). On soupçonne l'existence du même processus de contamination à partir du complexe de fonderie de Rouyn-Noranda au Québec. Les P.C.B. présents dans les cours d'eau agricoles de l'Ontario ont été attribués surtout aux retombées atmosphériques provenant de sources distantes et de transformateurs locaux (43).

7.4 La région de l'Atlantique

Dans cette région, on n'a constaté que très peu de problèmes de contamination des sols. Les boues d'épuration n'y sont pas produites en grandes quantités puisque la plupart des stations d'épuration n'ont seulement qu'un dispositif d'aération et que la plus grande partie des effluents sont déversés dans la mer. Au Nouveau-Brunswick, on évalue actuellement le degré de contamination des sols par certains agents atmosphériques provenant d'usines où se pratique la fusion du plomb, du zinc et de l'argent.

Plus importante est la contamination des sols à partir des résidus de pesticides et de défanants. Dans les champs de pommes de terre du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard, on s'est servi abondamment de l'arsenic de sodium comme défanant avant de procéder aux récoltes, c'est pourquoi la présence de résidus d'arsenic persiste dans certains sols. Dans les sols à vergers de la Nouvelle-Écosse, on peut détecter des résidus de plomb et de mercure par suite de l'emploi passé des pesticides (21).

Dans l'Ile-du-Prince-Edouard, on a constaté qu'il était difficile d'évacuer les déchets de la soude employée pour l'épluchage des pommes de terre; ces déchets possèdent une forte teneur en sodium et un pH supérieur à 10,0. Les terres qui jouxtent les secteurs d'épandage ont aussi été affectées par les eaux d'écoulement contaminées.

8.0 LE MELANGE DES SOLS ET LEUR PERTURBATION

L'enlèvement de la surcharge du sol pour l'extraction des minéraux sous-jacents, qu'il s'agisse de la houille ou d'autres matériaux, entraîne une perturbation considérable du sol et la dégradation des terres. Cela peut être dû au mélange du sol avant qu'il soit remis en place, à la non-remise en place du sol ou à l'altération du microrelief, de l'hydrologie superficielle ou souterraine ou de toute autre caractéristique physiographique des lieux. Tous les facteurs qui précèdent sont susceptibles de rendre les terres moins propices à la production agricole. Les exemples les plus évidents d'une telle dégradation sont l'exploitation par découverte, l'extraction du sable et du gravier et l'installation des pipelines ou des conduites de drainage.

8.1 La région cordilléranne

La perturbation des sols dans les Cordillères découle surtout de l'exploitation des forêts et des mines. Les terres agricoles y souffrent assez rarement de ces activités.

C'est surtout l'installation des pipelines et les travaux de drainage qui perturbent et mélangent les sols dans les secteurs agricoles, notamment dans la vallée du Bas-Fraser. Dans cette région, au moins 14 500 hectares de terre ont servi à l'extraction du sable, du gravier et de la pierre (66). On ne saurait dire quelle proportion de ces terres était auparavant consacrée à l'agriculture, mais le mode d'attribution actuel des permis accorde la préférence aux exploitations situées sur des terres non agricoles.

8.2 La région des grandes plaines

Dans cette région, les principales perturbations du sol découlent de l'exploitation de la houille, de la prospection pétrolière et gazière et de l'installation des pipelines; il faut aussi mentionner l'extraction du sable, du gravier et de la pierre. Les autres activités minières, comme l'exploitation de la potasse, du sel, du gypse et de la silice n'entraînent la perturbation des sols que dans des zones relativement petites.

Dans les plaines de l'Alberta et de la Saskatchewan, l'exploitation de la houille par découverte occupe actuellement environ 6800 hectares dont environ 500 à 650 sont excavés chaque année (115). Dans cette région, environ 340 à 690 hectares, soit presque toute la superficie des nouveaux terrains mis à découvert, sont assainis tous les ans.

Certaines projection concernant la demande future indiquent que, pour l'Alberta seulement, il faudra d'ici l'an 2004 convertir tous les ans environ 5670 hectares de plaines en exploitations minières (47). Entre les années 1975 et 2004, on estime donc que près de 69 000 hectares auront servi à l'exploitation minière. En Alberta, l'exploitation de la houille affecte actuellement plus de terres des contreforts (3150 hectares) que de terres des plaines (2340 hectares) mais environ 80% des gisements de houille à faible profondeur de cette province se trouvent sous des sols agricoles de type chernozémique et solonetzique (115). La durée entre la perturbation initiale du milieu agricole et la fin de l'assainissement primaire est d'environ 5 ans, ce qui indique qu'en l'an 2004, plus de 28 000 hectares auront été rendus inutilisables à un moment ou l'autre (47). Il n'est pas certain qu'on procède à l'assainissement de ces sols après en avoir exploité le sous-sol. Les opinions divergent quant à l'intérêt d'enlever puis de replacer le sol superficiel et pour ce qui est de la profondeur et du degré de mélange du sol pour obtenir une salinité optimale. Il est aussi important de tenir compte des changements qui peuvent se produire dans la qualité ou la profondeur des eaux souterraines salines pendant et après l'exploitation par découverte. Après leur valorisation, les terres ont besoin de 5 autres années pour reprendre un état productif acceptable.

En Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, l'extraction du sable, de la pierre et du gravier occupe environ 30 000 hectares, répartis presque également entre les trois provinces (64, 66, 115). Les terres affectées par les forages de pétrole et de gaz en Alberta totalisent une superficie de presque 10 000 hectares, tandis que les bassins de saumure et les résidus de l'industrie de la potasse occupent environ 2000 hectares.

De nombreux oléoducs et gazoducs traversent la région, mais la plupart des sols de prairies, les solonetz en particulier, ne semblent pas être endommagés par la construction des pipelines (32, 118). La structure améliorée de l'horizon Bnt et une certaine redistribution des sels à l'occasion du mélange du sol pendant le creusement des tranchées et leur remblayage contribuent parfois à l'augmentation des rendements sur les sols solonetziques au-dessus de certains pipelines. Toutefois, de nombreux sols des prairies septentrionales peuvent être affectés, particulièrement lorsque les travaux de construction sont exécutés dans des conditions humides. Il existe environ 5000 km de grands oléoducs et gazoducs dans les Prairies (76), mais on y trouve aussi de nombreuses petites conduites d'alimentation.

8.3 La région des Grands Lacs et du Saint-Laurent

Dans cette région, on exploite quelques gisements de gypse, de silice et de sel, mais de manière générale, l'activité minière est rare en milieu agricole. En Estrie, on exploite des gisements d'amiante, mais les emplacements n'occupent pas de grandes superficies de terres agricoles à potentiel élevé.

L'extraction du sable, du gravier et de la pierre est extensive puisqu'elle occupe au moins 67 000 hectares (66). On ignore quelle proportion de cette superficie correspond à de très bonnes terres agricoles, mais en Ontario, 90% de cette activité d'extraction est pratiquée dans la partie méridionale de la province où sont situés les grands centres urbains. Dans le secteur qui va de Kitchener à Oshawa, presque 50% des réserves de terrains à granulats sont occupés par des sols agricoles de classes 1 et 2 (communication personnelle, E. Presant, Agriculture Canada, Guelph). Les répercussions possibles de l'extraction des granulats sur l'agriculture sont importantes puisqu'il est peu probable que les terres en cause puissent retrouver un jour leur potentiel original de production. Environ 30% des espaces destinés à l'extraction du sable et du gravier dans le sud de l'Ontario ont reçu une certaine forme de traitement de valorisation (66). Les sablières, les gravières et les carrières de pierre occupent environ 25 000 hectares dans le sud du Québec (66) et l'intérêt pour la valorisation y est aussi grand.

Des pipelines traversent la région jusqu'à Montréal vers l'est et des prolongements sont prévus jusqu'à Québec et peut-être même jusque dans les provinces de l'Atlantique. Certains de ces pipelines traversent des terres à potentiel agricole élevé et suivant les méthodes de construction employées et les conditions météorologiques qui régnaient au moment des travaux, les répercussions sur les sols et la productivité future sont variables. Dans les sols qui reposent sur du till pierreux ou sur le socle rocheux, des pierres sont parfois ramenées à la surface à l'occasion des travaux et constituent ensuite un problème. Dans la plupart des sols, le mélange de la couche superficielle avec le matériau du sous-sol laisse une fertilité réduite et une structure affaiblie. Pour atténuer ces problèmes, il faut employer des techniques de construction soignée qui prévoient l'excavation du sol superficiel et son remblayage au-dessus de la tranchée, tout en évitant d'étendre le sous-sol provenant de la tranchée sur les lieux du chantier. Il est toutefois plus difficile de surmonter les problèmes de compactage, d'ornière et de mélange du sol qui se produisent sur l'ensemble du chantier lorsque les travaux de construction sont exécutés par mauvais temps (101).

Des baisses de rendement ont été observées pendant au moins 4 années après la construction d'un pipeline. Dans une étude menée dans le sud de l'Ontario (31), les rendements de maïs au-dessus d'une tranchée et d'une zone de chantier n'ont été que de 42 à 43% de ceux des parcelles adjacentes pendant la première année qui a suivi les travaux de constructon. Quatre ans plus tard, les rendements étaient passés à 74% au-dessus de la tranchée et à 86% au-dessus de la zone de chantier. Les rendements de soya et de céréales ont été moins affectés pendant la première année que ne le furent les rendements de maïs, pendant que les sols sableux étaient moins touchés que les sols argileux ou loameux. Dans les secteurs qui ont subi des baisses de rendement, la quantité de matières organiques, la porosité du sol, le coefficient de Darcy et l'état d'ameublissement du sol ont tous été affectés par la construction du pipeline. Ces données s'appliquent aux cas de pipelines construits pendant que les sols étaient humides, mais aux emplacements où la construction s'est faite par temps sec ou lorsque le sol était gelé jusqu'à au moins 20 cm de profondeur, on a constaté peu d'effets sur la productivité.

Dans la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent des drains de surface et des drains souterrains sont fréquemment installés. Pendant l'installation et le nettoyage des fossés exutoires de surface, de grandes quantités de déblais de sous-sol doivent être évacuées, si bien qu'elles se retrouvent souvent sur les terres adjacentes. Les résultats sont alors analogues à ceux qu'entraîne la construction d'un pipeline. Si le matériau excavé doit être transporté plus loin, il faut s'attendre au compactage et à l'orniérage par les véhicules. L'installation de drains souterrains fait appel à des méthodes semblables à celles qui sont employées pour les pipelines, sauf que la taille des tranchées et des machines employées est habituellement plus petite. Au nombre des autres méthodes possibles, on peut mentionner l'emploi de drains continus en plastique dont l'installation se fait à l'aide d'une charrue sous-soleuse, ce qui n'occasionne qu'une légère perturbation et un compactage minimal pourvu que le tout se déroule par temps sec.

Au cours des dernières années, environ 1300 km/an de nouveaux fossés ou de fossé reconstruits ont été excavés au Québec. En Ontario, où l'hydro-amélioration est plus poussée et ce, depuis plus longtemps, les nouveaux fossés sont construits à raison d'environ 179 km/an, en plus des travaux normaux de reconstruction. En 1975, le Canada comptait à peu près 660 000 km de drains souterrains et le réseau continue de s'étendre, particulièrement au Québec (22). Cependant, on peut dire que le drainage amélioré du sol après l'installation des drains fait généralement plus que compenser tout dégât susceptible d'affecter le sol pendant les travaux de construction et, de toute manière, l'emploi de matériel et de techniques améliorées ne devrait entraîner qu'un minimum de problèmes dus à la perturbation du sol.

8.4 La région de l'Atlantique

Dans l'ensemble des provinces de l'Atlantique, la perturbation du sol par les activités minières et l'installation de pipelines n'affecte que peu de secteurs de terres agricoles, mais l'extraction du sable et du gravier y suscite des craintes. Le prolongement éventuel des oléoducs vers Frédéricton et Halifax pourrait engendrer des problèmes lors de la traversée des terres cultivées. De plus, la nature fréquemment dense et pierreuse du sous-sol de la région permet de penser que des problèmes de pierrosité et de structure du sol pourraient survenir une fois les pipelines construits.

On aménage actuellement des exutoires de fossés de drainage un peu partout sur les terres agricoles de la région, ce qui crée des problèmes d'évacuation des matériaux excavés comme ceux dont il a été question plus tôt. Le drainage couvert n'est pas encore tellement répandu, mais il le devient à mesure que se généralise la production du maïs, laquelle est particulièrement sensible aux périodes, même courtes, de saturation d'eau dans le sol.

9.0 LA DETERIORATION DES SYSTEMES DE DRAINAGE ET LES INONDATIONS

Une des formes de détérioration du drainage que l'on rencontre est celle des drains en tuyaux qui deviennent obstrués par des matériaux d'origine microbienne du type "ocre de fer" ou par de fines particules; et/ou encore la détérioration de la structure du sol de telle sorte que l'infiltration est réduite au point où le système de drainage ne fonctionne plus efficacement. On rencontre aussi des problèmes de détérioration des réseaux de drainage par exutoires qui font que l'eau ne peut plus quitter normalement les surfaces drainées.

Le problème d'engorgement des drains semble être le résultat d'un processus microbiologique et chimique plus ou moins difficile à enrayer et qui tient à l'oxydation du fer et du manganèse, à la précipitation du matériau amorphe sur les tuyaux et les surfaces filtrantes et éventuellement à la réduction du débit de l'eau dans les tuyaux (52). Dans le sud de l'Ontario, on a signalé l'existence de ce problème dans des sables et des sols organiques reposant sur du sable (52) de même que, en une occasion, dans un sol constitué d'argile lourde (91), mais ces situations peuvent se retrouver un peu partout et elles sont plutôt imprévisibles (105). Dans l'est de l'Ontario, le problème a été observé dans des sols à texture grossière. Il a été signalé aussi au Québec et dans les provinces maritimes, mais on ne dispose d'aucune estimation pour ce qui est des autres parties du Canada. Le phénomène est susceptible d'endommager gravement les systèmes de drainage touchés en moins de deux ans après leur installation et on ne connaît encore aucune solution pratique (52). Pour le moment, l'excavation des tuyaux affectés, leur nettoyage et leur remplacement par un

remblayage de gravier conduisant à un orifice de percolation situé à la surface semblent constituer la mesure correctrice la plus pratique (104). Lorsque le secteur affecté est d'une certaine étendue, il peut se révéler plus économique d'en refaire le tuyautage à l'aide d'un remblayage de gravier.

Le bouchage des drains en tuyaux par les sédiments est aussi un problème dans les sols limoneux et sableux fins. En pratique, on réussit généralement à le contourner en enveloppant les tuyaux d'un matériau filtrant et/ou en construisant des drains qui possèdent une pente suffisante pour empêcher le dépôt des sédiments dans la conduite. Cette dernière méthode présente l'inconvénient de favoriser la sédimentation au fond des cours d'eau à l'endroit où se jettent les tuyaux.

On peut rencontrer des problèmes de détérioration du drainage par exutoires presque n'importe où au Canada. La plupart des moyens de lutte prévoient la conception de drains dont la section d'écoulement permet d'obtenir des berges stables dans différents types de sols et diverses conditions d'eaux souterraines; ils comprennent aussi la protection des ponceaux, des ruptures de pente et des courbes raides contre l'érosion ainsi que l'entretien des chenaux et des grilles à débris. Les exploitants agricoles aggravent parfois les choses en cultivant trop près des drains, ce qui permet au bétail d'accéder facilement aux berges humides des fossés et ce qui facilite l'érosion du sol dans les champs, entraînant du coup des problèmes de sédimentation dans les drains.

On ne dispose d'aucune estimation quant à la superficie de terres cultivées qui sont touchées par les inondations par suite de systèmes de drainage détériorés. Toutefois la vallée du Bas-Fraser, les districts de la Rivière-de-la-Paix et des Contreforts, le nord des Prairies, la vallée de la rivière Rouge et presque tout l'Ontario ainsi que l'est du Canada dépendent étroitement des systèmes de drainage en surface pour ne pas subir l'inondation de leurs terres cultivées. Toutes ces régions ont besoin d'ouvrages très étudiés, lesquels ont fait défaut jusqu'ici, ainsi que d'une protection et d'un entretien constants permettant leur bon fonctionnement. Il n'est pas rare que des travaux de reconstruction ou d'entretien de grande envergure doivent être exécutés au bout de 7 ou 10 années de service. Dans la plupart des cas, les problèmes sont dus à l'érosion des berges et à la sédimentation dans les chenaux.

10.0 L'AFFAISSEMENT DES SOLS ORGANIQUES

On rencontre des sols organiques dans toutes les régions du Canada, mais ils ne sont pas tellement exploités pour la production agricole sauf en certains endroits. Lorsqu'ils sont drainés, habituellement pour la culture intensive de plantes à fort rapport économique, on procède à leur assèchement et à leur oxydation puis la masse de matériau du sol commence à se contrac-

ter par suite du phénomène de retrait, de la perte de carbone et de l'augmentation de la densité occasionnée par l'humification. Le retrait se produit aussi par suite de la réduction de la teneur en eau et des forces capillaires, de la perte de sous-pression qui existe dans le sol lorsqu'il est à l'état saturé, du compactage par les machines lourdes et de l'érosion éolienne (51). Suivant les méthodes culturales et les conditions d'humidité ainsi que le type de matériau organique, le taux d'affaissement total est élevé dans les quelques années qui suivent le drainage, puis il diminue. Dans certains cas, des sols organiques se perdent par brûlage délibéré ou accidentel.

Dans le Holland Marsh du sud de l'Ontario, on a mesuré des taux d'affaissement postérieurs au drainage d'environ 3,3 cm/an entre 1959 et 1962, après des améliorations apportées au drainage en 1957 (51). Entre 1967 et 1976, on a estimé ces taux à environ 1,1 cm/an, lesquels étaient identiques au taux estimé avant les améliorations apportées au drainage. L'installation de drains souterrains pourrait bien avoir réduit la vie de ces sols de 35 ans. Au Québec, une estimation de l'affaissement existant dans une zone de sols organiques réservés à la culture des légumes a donné 2,1 cm/an pendant les 38 premières années d'exploitation. A partir de ce taux, on a prédit que le sol ne serait plus cultivable au bout des 44 prochaines années (74). Bien que dans le cas qui précède on ait pu sous-estimer la durée utile du sol par suite de la vitesse d'affaissement plus rapide que le sol connaît au cours de la première ou des deux premières années qui suivent leur drainage (71); il est intéressant de noter que certains vulgarisateurs provinciaux prévoient que le Holland Marsh en Ontario devrait durer encore à peu près aussi longtemps.

Ailleurs au Canada, les sols organiques servent au maraîchage dans la vallée du Bas-Fraser en Colombie-Britannique ainsi qu'au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Ecosse et à Terre-Neuve. On ne possède pas d'estimation des taux d'affaissement pour ces régions, mais on considère que les pertes de sol colombien sont supérieures aux autres par suite de l'absence de gel.

Au Manitoba, on défriche encore des sols organiques, surtout pour la culture du foin et l'exploitation des pâturages, comme c'est déjà le cas ailleurs dans le nord des prairies. Cependant, dans de nombreux cas on considère qu'il s'agit de sols indésirables et on les brûle volontiers (73). Toujours au Manitoba, on ne semble pas surveiller de trop près la nappe phréatique ni pratiquer le brûlage afin d'y préserver les sols, bien que le brûlage soit aujourd'hui réglementé pour des raisons "écologiques".

En réalité, les sols organiques productifs sont "minés" par le drainage et le travail du sol. Une bonne surveillance de la nappe phréatique consistant à en maintenir le niveau le plus élevé possible lorsque les véhicules ne se trouvent pas sur les sols visés, devrait permettre de réduire les taux d'affaissement. Cette pratique nécessite généralement la conception d'ouvrages élaborés comme les levées de terre, les fossés, les drains et les systèmes de pompage. Même si les installations qui précèdent sont déjà largement employées pour le drainage, les Canadiens n'ont pas encore tellement à s'en sevir dans un programme intégré de gestion de la nappe phréatique visant à réduire l'affaissement au minimum.

Le taux d'affaissement du sol peut aussi être réduit par l'inhibition de l'activité enzymatique bactérienne par laquelle se produit l'oxydation. Des études menées à Terre-Neuve et au Québec ont démontré que le cuivre, d'abord ajouté comme complément fertilisant pour corriger des carences décelées dans certains sols organiques, a pour effet d'inhiber l'oxydation du carbone et de réduire ainsi le taux d'affaissement (70). Des recherches plus poussées sont en cours afin d'examiner la praticabilité d'appliquer du cuivre à des sols organiques comme mesure de compromis afin de réduire l'affaissement qui découle de l'oxydation biochimique.

A cause du climat qui règne sur la vallée du Bas-Fraser, sur le sud de l'Ontario et sur la vallée du Saint-Laurent ainsi que sur certaines parties des provinces maritimes, les sols organiques qu'on y trouve sont des plus intéressants pour l'agriculture. Nombre d'entre eux ont déjà été mis en exploitation, et ce, en n'attachant que peu d'importance à la lutte contre l'affaissement. Aux endroits où les sols organiques sont l'objet d'une surveillance intensive, comme c'est le cas dans le sud de l'Ontario et au Québec, la durée de vie qui reste à la plus grande partie de cette ressource est probablement inférieure à 100 ans. Dans d'autres régions, le manque d'intérêt ou de prévoyance semble donner lieu à une destruction rapide et mal exploitée de ces sols.

11.0 COULEES BOUEUSES ET GLISSEMENTS DE TERRAIN

De nombreux sols donnent lieu à des coulées ou à des glissements lorsque les conditions de la nappe phréatique, de la végétation ou de la pente causent un état d'instabilité. C'est là un élément essentiel du problème d'érosion des sols dans les forêts montagnardes dont le bois est exploité, et où les pentes abruptes cèdent par suite de perturbations comme celles qui sont occasionnées par la construction des routes ou des chemins de fer. Les principales régions dont les terres agricoles sont susceptibles d'être affectées par des glissements de terrain ou des coulées boueuses sont celles de l'Outaouais et du

Saint-Laurent (de même qu'une zone située dans le voisinage du lac Saint-Jean et une petite partie de la vallée du Bas-Saint-Jean au Nouveau-Brunswick) ainsi que les vallées fluviales de la partie des prairies appartenant au Crétacé supérieur de l'Ouest canadien. Dans le premier cas, le phénomène est lié à l'existence de dépôts d'argile marine (argile à Léda ou argile sensible), lesquels dans certaines conditions d'humidité et de chargement, deviennent fluides lorsqu'ils sont perturbés et ne demandent plus qu'à s'écouler sous l'effet de la gravité. Lorsque les conditions hydrologiques sont modifiées ou lorsque les angles de pente sont sapés par l'érosion des berges du cours d'eau ou par la construction routière, de grandes quantités de sol peuvent être perdues à l'occasion de ces écoulements boueux. En 1971, une coulée de terre s'est produite dans l'est de l'Ontario et a entraîné avec elle 30 hectares de terre en pâturage jusqu'à 2 ou 4 km en aval de la rivière de la Nation du Sud, pendant que la même année, 31 personnes ont perdu la vie lorsque 27 hectares de terres situées à proximité du Lac Saint-Jean se sont écoulées dans un affluent du Saguenay (114). De semblables catastrophes sont rares, mais presque tous les ans, de petits glissements affectent des terres cultivées, des tronçons routiers et parfois même des résidences. Éviter de perturber de tels sols grâce à une bonne planification de l'utilisation du sol permettrait probablement de réduire les pertes subies lorsque surviennent de telles coulées boueuses.

Dans les Prairies, la situation est différente de ce qui vient d'être vu, mais la plupart des grandes vallées fluviales comme celles des rivières Saskatchewan-Nord et Saskatchewan-Sud, de la Qu'Appelle, de la rivière Bow, de la rivière Old Man et de la rivière de la Paix connaissent un problème analogue. La plupart des glissements de terrain que ces régions ont connus sont anciens et inactifs, puisque leur origine remonte à l'encaissement des cours d'eau. Actuellement, ces terres sont employées surtout comme pâturages et parcours, mais les glissements sont susceptibles d'être réactivés par toutes modifications de la nappe phréatique par suite de l'infiltration causée par les canaux d'irrigation et la construction des barrages. Une érosion et un écoulement excessifs dans le chenal même des cours d'eau suffiront à réanimer certains glissements (116). Les zones les plus vulnérables sont celles où l'on trouve des matériaux schisteux d'origine marine. En 1973, une coulée boueuse composée de matériaux alluvio-argileux a temporairement bloqué la rivière de la Paix, entre les localités de Hudson Hope et de Fort St.John, ce qui a entraîné l'inondation des terres agricoles situées au fond de la vallée.

12.0 RESUME ET CONCLUSIONS

La dégradation des terres agricoles affecte à divers degrés toutes les parties du Canada. Elle se manifeste sous de nombreuses formes et suivant divers processus. Chacune des provinces et presque tous les types de sols sont sujets à l'une ou l'autre forme de dégradation. Même si leur dégradation n'est pas active, de nombreux sols n'attendent pour se dégrader qu'un mauvais traitement. On a toutes les raisons de croire que la plupart des sols cultivés se détériorent par l'effet d'au moins un processus, mais que cette détérioration est souvent masquée par les avantages provisoires en productivité découlant des pratiques d'exploitation, lesquelles sont elles-mêmes susceptibles de contribuer au problème à longue échéance. Il arrive de rencontrer des sols qui profitent d'un traitment supérieur et qui voient ainsi leurs qualités s'améliorer, mais leur superficie est généralement réduite.

Nombre des problèmes de dégradation des sols sont répartis par région. A l'intérieur d'une même parcelle, on constate souvent la simultanéité de deux ou plusieurs processus. Ainsi, dans l'est du Canada, on trouve des sols qui ont été soumis à la monoculture en lignes pendant plus de 20 ans, qui ont été cultivés année après année et sur lesquels des machines toujours plus lourdes ont circulé même lorsqu'ils étaient encore humides; il existe aussi des sols ayant subi de nombreux traitements à l'aide d'engrais et de pesticides et dans certains cas, des sols ayant servi en plus à l'épandage des boues d'épuration. Toute la région est aussi soumise à des concentrations relativement fortes de retombées polluantes provenant de l'atmosphère. Il n'est donc pas surprenant que l'érosion, le compactage, l'acidification et la contamination des sols y soient de graves problèmes. En outre, les cultivateurs ne font qu'aggraver les problèmes lorsqu'ils suppriment des lignes entières de clôtures ou lorsqu'ils pratiquent un labourage parallèle à la pente au printemps.

D'un autre côté, dans l'Ouest canadien, les exploitants agricoles portent un intérêt particulier à la salinisation, à l'azote organique et à l'érosion éolienne. La jachère d'été y est très répandue même aux endroits où l'indice d'humidité n'y oblige pas. La lutte contre les mauvaises herbes, l'azote assimilable, la rentabilité et les traditions sont tous des facteurs qui influent sur les décisions concernant la mise en culture et qui ont trait à ces problèmes de qualité du sol. Certaines terres, sur lesquelles viennent de surgir des problèmes, ont pourtant été traitées à peu près de la même façon pendant des générations, ce qui indique la nature latente de certains des processus en cause.

Il est assez intéressant de noter qu'il existe des processus de dégradation des sols qui ne reçoivent que peu d'attention tout simplement parce qu'on ne s'attend pas à ce qu'ils se produisent. Ainsi, l'érosion hydrique dans l'Ouest et l'érosion éolienne dans l'Est semblent être des problèmes considérablement plus importants qu'on ne le reconnaît généralement. L'acidification et le chaulage sont aussi mieux compris dans l'Est, où le problème existe depuis longtemps, que dans l'Ouest où il vient de faire son apparition dans certains sols par suite de l'emploi d'engrais azotés et des émissions localisées de soufre atmosphérique.

Certains problèmes de qualité des sols ne sont pas distribués suivant les régions. Ainsi, l'extraction du gravier détruit des terres agricoles dans toutes les régions et l'assainissement de ces terres reste incertain, même en mettant les choses au mieux. Les activités liées à la production d'énergie comme l'exploitation de la houille et l'installation des pipelines prennent l'envergure de problèmes nationaux; il est en effet possible que ce problème affecte des zones de plus en plus étendues dans les années à venir. La contamination des sols perturbés ne fait que compliquer les problèmes de valorisation.

Certains problèmes de dégradation des sols donnent naissance à d'autres problèmes quand ils ne les aggravent pas. Par exemple, lorsqu'une plante est arrêtée dans sa croissance ou détruite par la salinité ou la contamination, le sol peut devenir vulnérable à l'érosion éolienne ou hydrique; le travail excessif du sol dans des conditions humides peut endommager sa structure et réduire l'efficacité des systèmes de drainage, ce qui ne fait qu'augmenter les possibilités que le sol soit encore plus souvent travaillé à l'état humide.

Il faut ici se demander combien de temps de telles conditions pourront se maintenir sans que ne se développent des situations faisant que tout amendement ne soit possible qu'avec l'emploi de grandes quantités de produits chimiques et une grande consommation d'énergie afin de maintenir les rendements. Et puis, combien en coûtera-t-il pour obtenir ces rendements et jusqu'à quel point pourra-t-on compter sur les sols en période de mauvais temps? Quels sont les effets sur les problèmes de flux de liquidité pour ce qui est des exploitations agricoles?

Malheureusement, on ne peut répondre à ces questions avec certitude. Dans la plupart des cas de dégradation des terres, on connaît et on comprend les mesures agrologiques nécessaires, mais les aspects économiques à court terme, certaines attitudes traditionnelles et l'absence de données convaincantes contribuent à faire durer la situation sans que rien ne soit fait. Des recherches à la fois nouvelles et innovatrices sont nécessaires dans des domaines comme la prévention des infiltrations salines, la lutte contre l'érosion, la quantification des changements intervenus dans la structure

des sols ainsi que la diversification des emplois de légumineuses fourragères. Une bonne part de la solution tient davantage à l'élaboration de politiques et de programmes innovateurs de la part des différents ordres de gouvernement afin de prévoir de l'aide au niveau des exploitations agricoles, où la plus grande partie du travail de lutte devra être fait. Il faut en arriver à ce que les chercheurs, les spécialistes, les vulgarisateurs, les fonctionnaires provinciaux, le milieu rural et le public en général soient informés des problèmes actuels et éventuels de même que des moyens d'y remédier. L'objectif doit être de créer un régime de gérance des terres visant à préserver les ressources foncières dans les meilleurs intérêts de la production agricole compte tenu des conditions climatiques qui règnent sur les régions. Autrement, il reste possible de faire de bons profits à court terme, mais à longue échéance, cela n'ira pas sans hypothéquer lourdement l'avenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Acres Consulting Services Ltd, Atmospheric loading of the lower Great Lakes drainage basin, rapport destiné au Centre canadien des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.) pour le Groupe de référence sur la pollution découlant des activités liées à l'utilisation du sol, Commission mixte internationale, mars, 1977, 76 p.

2. Anderson, D.T. (rédacteur), L'érosion éolienne, causes, dégâts, remèdes, publication 1266, Agriculture Canada, (Ottawa), 1966, 26 p.

3. Anderson, C.H., A history of soil erosion by wind in the Palliser Triangle of western Canada, Agriculture Canada, no 8 de la série historique (Ottawa), 1975, 18 p.

4. Anon. Herbicice Report, Chemistry and analysis, environmental effects, agricultural and other applied uses, U.S.E.P.A. Tech. Info. Rpt. PB-266 006, Washington D.C., 1974.

5. Arsenault, J.L., Report on soil conservation work in New Brunswick, Canada, rapport inédit présenté à la Commission de mise en valeur et de conservation des ressources, ministère de l'Agriculture du Nouveau-Brunswick, Frédéricton (N.-B.), le 7 octobre, 1975, 5 p.

6. Baldwin, C.S. et Acton, C.J., Soil erosion by wind, nature and extent, Notes sur l'agriculture, université de Guelph, 14(3):8-9, décembre, 1978.

7. Ballantyne, A.K., Recent accumulation of salts in the soils of southeastern Saskatchewan, Revue canadienne de la science du sol, 1963, 43:52-58.

8. Ballantyne, A.K., Saline soils in Saskatchewan due to wind deposition, Revue canadienne de la science du sol, 1978, 58:107-108.

9. Ballantyne, A.K., Movement of salts in agricultural soils of Saskatchewan, 1964 à 1975, Revue canadienne de la science du sol, 1978, 58:501-509.

10. Bates, T.E., Land applicatin of sewage sludge, report on project 71-4-1, Entente Canada-Ontario, rapport sur les ressources n°1, ministère de l'Environnement de l'Ontario, Ottawa/Toronto, 1972, 212 p.

11. Beke, G.J. et Webb, K.T., Survey of the soil-erodibility (K) factor for representative soils from the Shubenacadie River - Stewiache Corridor area, Nova Scotia, Shubenacadie-Stewiache Rivers Study Board, Ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Ecosse, Halifax, (N.-E.), 1977, 25 p.

12. Black, S.A. et Schmidtke, N.W., Overview of Canadian sludge handling and land disposal practices and research, étude présentée au séminaire sur l'entente Canada-Ontario relative à la manipulation et à l'évacuation des boues d'épuration, Toronto, les 18 et 19 septembre, 1974.

13. Bolton, E.F. et Webber, L.R., Effect of cropping systems on the aggregatin of a Brookston clay soil at three depths, Sci. Agric. 1952, 32:555-558.

14. Bolton, E.F. et Aylesworth, J.W., Effect of tillage traffic on certain physical properties and crop yield on a Brookston clay soil, Revue canadienne de la science du sol, 1959, 39:98-102.

15. Bolton, E.F., Dirks, V.A. et Findlay, W.I., Some relationships between soil porosity, leaf nutrient composition and yield of certain corn rotations at two fertility levels on Brookston clay, Revue canadienne de la science du sol, 1979, 59:1-9.

16. Bouldin, D.R. et Lathwell, D.J., Behaviour of soil organic nitrogen, Cornell U. Ag. Expt. Stn. Bull. 1023, décembre, 1968, 16 p.

17. Brady, N.C., The nature and properties of soils, MacMillan, New York, chap. 9 et 15, 1974, 639 p.

18. Brown, A.L., Wyatt, F.A. et Newton, J.D., Effects of cultivation and cropping on the chemical composition of some Western Canada prairie soils, part II, Revue canadienne de la science du sol, 1942, 23:229-232.

19. Campbell, C.A., Organic matter, nitrogen and fertility relative to the growth and management of cereals (wheat) in s.w. Saskatchewan, Actes, séminaire sur la production du blé en régime de culture sèche dans le sud-ouest de la Saskatchewan, statin de recherche, Swift Current (Sask.), janvier, 1978.

20. Cameron, D.R., Reclaiming salty soils, étude présentée à la conférence sur les sols fertiles sans produit chimique, St. Peter's Abbey, Muenster (Sask.), les 2 et 3 avril, 1979.

21. Canada Soil Fertility Committee, Soil pollution in Canada, rapport inédit, Agriculture Canada, Ottawa, vers 1970, 8 p.

22. Canadian National Committee on Irrigation and Drainage, Bulletin n°4, (T.H. Anstey, Directeur, Agriculture Canada, Ottawa), janvier, 1975, 12 p.

23. Canadian Task Force on soils, rapport préparé pour le Comité interministériel sur les activités écologiques internationales, W.S. Ferguson, président, Agriculture Canada, Ottawa, (inédit), juin, 1971, 29 p.

24. Census of Agriculture (recensement agricole), 1966, Culture sur les exploitations recensées, Statistique Canada, juin, 1968, 96-601 (3-1).

25. Census of Agriculture (recensement agricole), 1976, Statistique Canada, 1977, 96-851 (3A-1) et 96-854 (5A-4).

26. Clayton, J.S., Ehrlich, W.A., Cann, D.B., Day, J.H. et Marshall, I.B., Soils of Canada, vol. II, Soil Inventory, Agriculture Canada, Ottawa, 1977, 239 p.

27. Chepil, W.S., Siddoway, F.J. et Armbrust, D.V., Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields, Jour. Soil and Water Cons., 1962, 17(4):162-165.

28. Chepil, W.S. et Woodroff, N.P., The physics of wind erosion and its control, Adv. in Agron., 1963, 15:211-302.

29. Coote, D.R., Agriculture and water quality in the Canadian Great Lakes Basin, Can. Agric. 1980, 25(1):3-6.

30. Crossan, L.S., Soil salinity map of Saskatchewan, Sask. Inst. of Ped., pub. no. M29, université de la Saskatchewan, 1976.

31. Culley, J.L.B., Dow, B.K., Maclean, A.J. et Presant, E.W., Impacts of installation of an oil pipeline on the productivity of Ontario cropland, institut de recherche sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa 75 p. (sous presse).

32. DeJong, R. et Button, R.G., Effects of pipeline installations on soil properties and productivity, Revue canadienne de la science du sol, 1973, 53:37-47.

33. Dew, D.A., Effect of summerfallow tillage on soil physical properties and yield of wheat, Revue canadienne de la science du sol, 1968, 48:21-26.

34. Doughty, J.L., Cook, F.D. et Warder, F.G., Effect of cultivation on the organic matter and nitrogen of Brown soils, Revue canadienne de la science du sol, 1954, 34:406-411.

35. Dubé, A., L'eau et l'érosion des sols, Ressources, 1975, 6(4):8-15.

36. Dubé, A. et Mailloux, A., La mesure de l'érosion à Cap-aux-Corbeaux, Agriculture, 1969, 26(1):32-36.

37. Dubetz, S., Kozub, G.C. et Dormaar, J.F., Effects of fertilizer, barnyard manure and crop residues on irrigated crop yields and soil chemical properties,, Revue canadienne de la science du sol, 1975, 55:481-490.

38. Edwards, C.A., Insecticide residues in soils, Residue Reviews, 1968, 13:83-132.

39. Eilers, R.G., Report on salinity studies being conducted in the Souris Basin, actes de la 12e réunion annuelle des pédologues manitobains, 1968, p. 44 à 46.

40. Eilers, R.G., Extent and nature of salt affected soils in Manitoba, Canada, Prospection pédologique Canada-Manitoba, Winnipeg (Man.), 1978, 11 p. (inédit).

41. Elrick, D.W., Biggar, J.W. et Webber, L.R., Soil pollutants, their origin and behavior, Jour. Soil and Water Cons., 1966, 21(1):7-11.

42. Ferguson, W.S., Effect of repeated applications of straw on grain yields and on some soil properties, Revue canadienne de la science du sol, 1967, 47:117-121.

43. Frank, R., Braun, H.E., Sirons, G., van Hove Holdrinet, M., Ripley, B.D., Onn, D. et Coote, D.R., Pesticides in eleven agricultural wartersheds in southern Ontario, Canada, 1974-77, rapport sur le projet 4.B, études des bassins hydrographiques agricoles, groupe de travail C, Canada, PLUARG, IJC, Windsor (Ont.), 1978, 174 p.

44. Frank, R., Ishida, K. et Suda, P., Metals in agricultural soils of Ontario, Revue canadienne de la science du sol, 1976, 56:181-196.

45. Frank, R., Montgomery, K., Braun, H.E., Berst, A.J., Loftus, K., DDT and dieldrin in watersheds draining the tobacco belt of southern Ontario, Pest. Monit. Jour., 1974, 8(3):184-201.

46, Henry, J.L. et Johnson, W.E., The nature and management of salt-affected soils in Saskatchewan, Sask. Dept. Agric. Bull., 1977, 26 p.

47. Hermans, J.C. et Goettel, A.W., The Impact of surface mining on agriculture in Alberta, pages 11.1-11.10 dans les Actes. "Adequate Reclamation of Mined Lands?", Symp. Soil Cons. Soc. of Am., bilingue, (Montana) mars, 1980, p. 26 à 27.

48. Himelman, D. et Stewart, N., Soil erosion studies in Prince Edward Island, Proc. Soil Erosion Workshop, Nova Scotia Agric. Coll, Truro, du 17 au 19 avril, 1979, p. 37 à 43.

49. Holm, H.M., Save the Soil, A study in soil conservation and erosion control, Plant Industry Branch, Ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan, 48 p. (inédit).

50. Hoyt, P.B., The need for liming in Western Canada, étude présentée à la réunion de la Western Canada Fert. Ass., Richmond (C.B.), 28 août, 1979.

51. Irwin, R.W., Subsidence of cultivated organic soil in Ontario, Jour. Irrig. and Drainage Div., ASCE, 1977, 103(IR2):197-205.

52. Ivarson, M. et Sojak, K.C., Microorganisms and ochre deposits in field drains of Ontario, Revue canadienne de la science du sol, 1978, 58(1):1-17.

53. Jenkins, G.C., A look at erosion on some Manitoba Soils, actes de la 12e réunion annuelle des pédologues manitobains, les 4 et 5 décembre, 1968, p. 98 à 104.

54. Jenkins, G.C., A look at erosion on some Manitoba soils, Part II, actes de la 13e réunion annuelle des pédologues manitobains, 1969, p. 68 à 73.

55. Johnson, A., Dormaar, J.F. et Smoliak, S., Long-term grazing effects on fescue grassland soils, Jour. Range Mngt., 1971, 24(3):185-188.

56. Johnson, W.E., Conservation tillage in Western Canada, Jour. Soil and Water Cons., 1977, 32(1):61-65.

57. Ketcheson, J.W., Conservation tillage in Eastern Canada, Jour. Soil & Water Cons., 1977, 32(1):57-60.

58. Ketcheson, J.W., Long range effects of intensive cultivation and monoculture on the quality of southern Ontario soils, étude présentée au colloque canadien de la Société de pédologie sur les effets à long terme de la culture intensive sur la qualité des sols, Frédéricton (N.-B.), le 21 août, 1979.

59. Ketcheson, J.W., Martel, Y.A. et McLean, A.A., Eastern Canadian soils - trends in productivity, 1979, Agrologist 8(4):16-17.

60. Ketcheson, J.W. et Webber, L.R., Effects of soil erosion on yield of corn, Revue canadienne de la science du sol, 1978, 58(4):459-463.

61. Khan, S.V., Marriage, P.B. et Saidak, W.J., Residues of paraquat in an orchard soil, Revue canadienne de la science du sol, 1975, 55:73-75.

62. King, R.R., Okanagan pH survey report, ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique, Kelowna (C.-B.), août 1972, 32 p.

63. Kolstee, H., On-farm management of soil erosion, actes de l'équipe de travail sur l'érosion des sols, Collège d'agronomie de la Nouvelle-Ecosse, Truro, du 17 au 19 avril, 1979, p. 69 à 70.

64. Land Use Policy Committee, Mineral Lands, feuille de renseignement no 4 gouvernement de la Saskatchewan (Régina), 1978, 6 p.

65. Luken, H., Saline soils under dryland agriculture in southeastern Saskatchewan (Canada) and possibilities for their improvement, Plant and Soil, 1962, 17(1):1-25.

66. Marshall, I.B., Mining, Land Use and the Environment: I.A.Canadian Overview, l'utilisation du sol dans la série canadienne de la Direction générale des terres, Environnement Canada (projet de textes, en préparation pour publication en 1981).

67. Martel, Y.A. et Deschênes, J.M., Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec, Revue canadienne de la science du sol, 1976, 56:373-383.

68. Martel, Y.A. et MacKenzie, A.F., Long-term effects of cultivation and land use on soil quality in Quebec, étude présentée au colloque de la Société canadienne de pédologie sur les effets à long terme de la culture intensive sur la qualité des sols, Frédéricton (N.-B.), le 21 août, 1979.

69. Martel, Y.A. et Paul, E.A., Effects of cultivation on the organic matter of grassland soils as determined by fractionation and radiocarbon dating, Revue canadienne de la science du sol, 1974, 54:419-426.

70. Mathur, S.P., Hamilton, H.A. et Lévesque, M.P., The mitigating effect of residual fertilizer copper on the decomposition of an organic soil in situ, S.S.S.A. Jour. 1979, 43(1):200-203.

71. Mathur, S.P. et Lévesque, M.P., Lettre au rédacteur relativement à la: Subsidence of an organic soil in southwestern Quebec, Revue canadienne de la science du sol, 1977, 57:503-504.

72. McGill, W.B., Nyborg, M.P., Rowell, M.J., Toogood, J.A., Cook, F.D. et Laverty, D.H., Actes de l'atelier sur la valorisation des terres perturbées en Alberta, Centre de recherches forestières nordiques. Rapport d'information. NOR-X-116, 1974, p. 118 à 138.

73. Michalski, L.A., Organic soils in eastern Manitoba, actes de la 28e réunion annuelle des pédologues manitobains, université du Manitoba, Winnipeg, le 7 et 8 décembre, 1977, p. 121 à 126.

74. Millette, J.A., Subsidence of an organic soil in southwestern Quebec, Revue canadienne de la science du sol, 1976, 56:499-500.

75. Mills, J.G., Shaykewich, C.F., Zwarich, M.A. et Gumbo, F.J., Tile drainage and soil desalinization at the Morden Experimental Farm, actes de la 18e réunion annuelle des pédologues manitobains, 1974, p. 67 à 75.

76. Mineral Resources division, Principal mineral areas of Canada, Energie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, carte 900-A, 28e éd., 1978.

77. Newton, J.D., Wyatt, F.A. et Brown, A.L., Effects of cultivation and cropping on the chemical composition of some western Canada Prairie Province soils, Part III, Sci. Agric., 1945, 25:718-737.

78. Nicholaichuk, W. et Read, D.W.L., Nutrient runoff from fertilized and unfertilized fields in Western Canada, Jour. Env. Qual., 1978, 7(4):542-544.

79. Nyborg, M., Sulphur deficiency in cereal grains, Revue canadienne de la science du sol, 1960, 48:37-41.

80. Nyborg, M., Reclamation of soils and waters made acid by windblown sulphur dust, actes de l'atelier sur la valorisation des terres perturbées, Centre de recherches forestières nordiques, rapport d'information NOR-X-116, les 27 et 28 mars, 1974, p. 55 à 70.

81. Nyborg, M. et Walker, D.R., an overview - the effects of sulphur dioxide emmission on the acidity and sulphur content of soils, actes du IIIe atelier de recherches sur le gaz sulfurique de l'Alberta, université de l'Alberta (Edmonton), les 17 et 18 novembre, 1977, p. 165 à 195.

82. Nygaard, Ellen, 10,000-year legacy in jeopardy, Science Forum, mai et juin, 1978. p. 15 à 18.

83. Oosterveld, M. et Sommerfeldt, T.G., A closed basin drainage solution in a semi-arid area, dans Dryland Saline-Seep Control in Alberta, comité sur les infiltrations salines en Alberta, rapport provisoire, Alberta Agriculture, avril 1979, p. 46 à 52.

84. Penney, D.C. et Henry, J.L. Reaction of fertilizer N with soil components, dans Western Canada Nitrogen Symp., actes de l'atelier de pédologie albertaine (Calgary), janvier, 1976, p. 275 à 298.

85. Protz, R., Acton, C.J. et Lane, T.J., Low yield spots in intensively used farms, rapport sur le projet A-388-33 du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, par le Département des sciences de la terre, université de Guelph, février, 1977, 43 p.

86. Putnam, N.F., An inventory of soil pollution and problems requiring investigation and research: British Columbia, colloque sur la pollution des sols, rapport de la réunion de la Commission nationale sur la fertilité des sols, les 27, 28, 29 février, Vancouver (inédit), 1968, p. 62 à 66.

87. Raghavan, G.S.V., McKyes, E., Classé, M. et Mérineau, F., Development of compaction patterns due to machinery operations in an orchard soil, Revue canadienne de phytotechnie, 1976, 56:505-509.

88. Raghavan, G.S.V., McKyes, E., Stemshom, E., Craig, A. et Beaulieu, B., Vehicle compaction patterns in clay soil, Trans. ASAE, 1977, 20:218-220, 225.

89. Rauschkolb, R.S., Land degradation, bulletin pédologique n°13 (F.A.O.), Soil resources Development and Conservation Service, F.A.O., Rome. 1971, 105 p.

90. Rennie, D.A. et Ellis, J.G. The shape of Saskatchewan, Sask. Inst. of Ped. Publ. No. M41, université de la Saskatchewan, Saskatoon, 1978, 62 p.

91. Ricker, M., Drainage concerns, actes, Eastern Ontario Soil and Imp. Assoc., ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, Toronto, 1977, p. 50 à 55.

92. Ridley, A.O. et Hedlin, R.A., Soil organic matter and crop yields as influenced by the frequency of summerfallowing, Revue canadienne de la science du sol, 1968, 48:315-322.

93. Ripley, P.O., Kalbfleisch, W., Bourget, S.J. et Cooper, D.J., Erosion du sol par l'eau, publication 1083, Agriculture Canada, 1961, 35 p.

94. Russell, E.W., Soil conditions and plant growth, Longmans Press, London, 9e éd., 1961, 688 p., chap. 27-28.

95. Rutherford, G.K. et Bray, C.R., Extent and distribution of soil heavy metal contamination near a nickel smelter at Coniston, Ontario, Jour. Env. Qual., 1979, 8(2):219-222.

96. Sadler, J.M., Soil conservation research: Where is it headed and What is Needed? rapport inédit, station de recherche d'Agriculture Canada, Charlottetown, (I.-P.-E.), 1978, 6 p.

97. Saini G.R., Chemical and physical properties of coastal alluvial soils of New Brunswick, Geoderma, 1971, 5:111-118.

98. Saini, G.R., Soil compaction and freezing and thawing, lettre au rédacteur, S.S.S.A. Jour., 1978, 42(5):843-844.

99. Saini, G.R. et Grant, W.J., Long-term effects of cultivation on soil quality in the potato growing areas of New Brunswick (Canada) and Maine (U.S.A.), étude présentée au colloque de la Société canadienne de pédologie sur les effets à long terme de la culture intensive sur la qualité des sols, Frédéricton, (N.-B.), 21 août, 1979.

100. Saini, G.R. et Hughes, D.A., Soil compaction reduces potato yields, Can. Agric. 1972, 17(4):28-29.

101. Shields, J.A., Possible impacts of pipeline construction on farmland, Institut de recherche sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa, 1979, 12 p.

102. Shields, J.A. et Nowland, J.L., Additional land for crop production: actes de la XXX^{e} réunion annuelle de la Société américaine de conservtion des sols, du 10 au 13 août, San Antonio (Texas), 1975, p. 45 à 60.

103. Smoliak, S., Dormaar, J.F. et Johnson, A., Long-term grazing effects on Stipa-Bouteloua prairie soils, Jour. Range Mngt, 1972, 25(4):246-250.

104. Sojak, M. et Ivarson, K.C., Iron and manganese oxide problems in tile drains, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, feuille de renseignement Agdex n° 752, publication n° 78-045, Toronto, (Ont.), 1978, 3 p.

105. Sojak, M. et Ivarson, K.C., Ochre in Ontario tiles, Drainage Contractor, juillet, 1978.

106. Sommerfeldt, T.G., The lull before the storm, dans Dryland Salinity and Seepage in Alberta, Proc. Alberta Dryland Salinity Comm., mars, 1977, p. 1 à 4.

107. Sommerfeldt, T.G. et Oosterveld, M., Soil salinity in an Alberta irrigation district as affected by soil and groundwater characteristics, Revue canadienne de la science du sol, 1977, 57:21-26.

108. Sommerfeldt, T.G., Vander Pluym, H. et Christie, H., Drainage of saline seeps in Alberta, actes de la réunion du sous-comité sur les sols affectés par le sel, 11^{e} congrès de la S.I.S.S., Edmonton, juin, 1978, p. 4.15 à 4.23.

109. Sowden, F.J. et Atkinson, H.J., Effect of long-term annual additions of various organic amendments on the organic matter of a clay and a sand, Revue canadienne de la science du sol, 1968, 48:323-330.

110. Stewart, D.K.R. et Chisolm, D., Long-term persistance of BHC, DDT and Chlordane in a sandy loam soil, Revue canadienne de la science du sol, 1971, 51:379-383.

111. Stewart, N.E., Erosion of agricultural lands in the Maritime Provinces, rapport dressé pour les groupes de travail de l'A.P.A.S.C.C. sur les sols, ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'I.-P.-E., Charlottetown, avril, 1976, 7 p.

112. Stewart, N.E. et Himelman, D.E., Soil erosion studies on Prince Edward Island, étude présentée à la réunion de 1975 de l'A.S.A.E., université Cornell, Ithaca, N.Y., du 17 au 20 août, 1975, (inédit).

113. Stewart, N.E. et Himelman, D.E., A report on the extent of soil erosion damage on P.E.I., ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'I.-P.-E., Charlottetown, 31 mars, 1976, (inédit).

114. Tavenas, F., Chagron, J.Y. et LaRochelle, P., The Saint-Jean Vianney landslide: Observations and Eyewitness Accounts, Revue canadienne de géotechnique, 1971, 8:463-478.

115. Thirgood, J.V., Extent of disturbed land and major reclamation problems in Canada, dans Reclamation of Drastically Disturbed Lands; F.W. Schaller et P. Sutton, (rédacteurs). actes de la conférence, août 1976. Wooster, (Ohio), American Society of Agronomy, Madison, Wis., 1978, p. 45 à 68.

116. Thompson, S. et Morgenstern, N.R., Factors affecting distribution of landslides along rivers in southern Alberta, revue canadienne de géotechnique, 1977, 14:508-523.

117. Toogood, J.A., Water erosion in Alberta, Jour. Soil & Water Cons., 1963, 18:238-240.

118. Toogood, J.A., The effect of pipeline installations on crop yield, actes de l'atelier sur la valorisation des terres perturbées en Alberta, Environnement Alberta - Environnement Canada, les 27 et 28 mars, 1974, p. 15 à 18.

119. Toogood, J.A., Wind and water erosion problems in Alberta, actes de l'atelier sur la conservation des sols, Red Deer, 1er février, Alberta Agriculture, 1977, p. 11 à 24.

120. Valentine, K.W.G. et Dawson, A.B., The Interior Plateau, dans Soil Landscapes of British Columbia, Direction de l'analyse des ressources, ministère de l'environnement, Victoria (C.-B.), 1978, p. 121 à 134.

121. Vander Pluym, H.S.A., Extent, causes and control of dryland saline seepage in the northern Great Plains region of North America, actes de la sous-commission sur les sols affectés par le sel, XI^{e} congrès de la Société internationale de la science des sols, Edmonton, juin, 1978, p. 1-48 à 1-58.

122. Van Vleit, L.J.P., Wall, G.J. et Dickinson, W.T., Soil erosion from agricultural land in the Canadien Great Lakes Basin, rapports définitifs des groupes de travail 16 et 17, étude sur les bassins hydrographiques agricoles, PLUARG, IJC, Windsor (Ont.), 1978, 166 p.

123. Veinot, R., Organic matter and pH levels in P.E.I. farm soil samples 1972-77, laboratoire de prospection pédologique et d'étude des semences, Direction des services techniques, ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard, 1968, 13 p.

124. Webber, L.R. (rédacteur), Progress Report, 1960, Dept. of Soil Science, university de Guelph (Ont.), 1961, p. 34.

125. Webber, L.R., Soil physical properties and erosion control, Jour. Soil & Water Cons., 1964, 19(1):28-30.

126. Webber, M.D., Schmidke, N.W. et Coehen, D.B., Sewage sludge utilization on land - the Canadian scene, Env. Canada, C.C.I.W., article présenté au congrès sur "Utilization of Sewage Sludge on Land", Oxford, (Royaume-Uni), du 10 au 13 avril, 1978.

127. Western Canada Soil Fertility Committee, Soil quality criteria for agriculture, Agriculture Canada, (sans date).

128. Wischmeier, W.H. et Smith, D.D., Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, USDA Agri. publication no 282, 1965, p. 47.